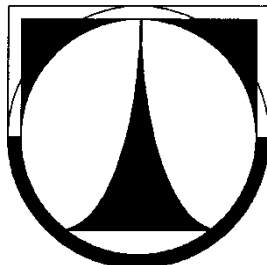


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



**VLIV OBJEMU VYROVNÁVACÍ NÁDOBY NA MĚŘENÍ
PRŮTOKU VZDUCHU DO MOTORU**

**INFLUENCE VOLUME OF STABILIZATION CONTAINER TO
MEASURE AIRFLOW INTO THE ENGINE**

Bakalářská práce

Marek Česák

Květen 2011

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor B2341

Zaměření

2301R022 stroje a zařízení

dopravní stroje a zařízení

**VLIV OBJEMU VYROVNÁVACÍ NÁDOBY NA MĚŘENÍ
PRŮTOKU VZDUCHU DO MOTORU**

**INFLUENCE VOLUME OF STABILIZATION CONTAINER TO
MEASURE AIRFLOW INTO THE ENGINE**

Bakalářská práce

KVM – BP – 246

Marek Česák

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc., TU v Liberci, KVM

Konzultant diplomové práce: Ing. Radek Holubec, TU v Liberci, KVM

Ing. Ludovít László, TU v Liberci, KVM

Počet stran: 62

Počet obrázků: 27

Počet příloh: 1

Počet výkresů: 4

Květen 2011



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Marek Č E S Á K
obor	B2341 Strojírenství
zaměření	2301R022 stroje a zařízení dopravní stroje a zařízení

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

VLIV OBJEMU VYROVNÁVACÍ NÁDOBY NA MĚŘENÍ PRŮTOKU VZDUCHU DO MOTORU

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Vysvětlíte význam měření spotřeby vzduchu v pístovém spalovacím motoru při jeho zkouškách na zkušebně motorů a uveďte možné způsoby měření průtoku vzduchu do motoru. Podrobněji se zabývejte dynamikou proudění vzduchu v sacím traktu motoru s ohledem na objemový pracovní způsob pístového motoru a uveďte možná opatření k omezení účinku časově proměnlivých rychlostí (pulzací) vzduchu v sacím potrubí na výsledek měření (pozornost věnujte zejména použití vyrovnávací nádoby v sacím traktu).
2. Seznamte se s průtokoměry vzduchu (měřidly), používanými v laboratoři KVM, navrhnete zástavbu vybraných měřidel do sacího potrubí vybraného motoru na zkušebním stanovišti v laboratoři KVM (vč. vyrovnávací nádoby k potlačení vlivu pulzací vzduchu na měřidlo) a podílejte se na realizaci měřicí tratě.

3. Proved'te měření spotřeby vzduchu v různých provozních režimech motoru s několika variantami uspořádání sacího traktu s průtokoměry vzduchu, výsledky měření zpracujte a uveďte zásadní poznatky a doporučení pro zástavbu vybraných typů průtokoměrů vzduchu do sacího traktu motorů na zkušebních stanovištích v laboratoři KVM.
4. Výsledky řešené bakalářské práce jsou určeny k využití pro výuku a výzkumné práce v laboratoři KVM.

Forma zpracování bakalářské práce:

Průvodní zpráva - v rozsahu cca 40 stran textu, vč. příloh.

Text celé bakalářské práce včetně příloh bude v elektronické formě přiložen na CD nosiči k tištěnému svazku originálu bakalářské práce.

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- | 1 | Dokumentace k průtokoměrům vzduchu v laboratoři KVM
- | 2 | Skripta a publikace k technickým měřením (KVM)
- | 3 | Materiály k měření průtoku vzduchu dostupné na internetu

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc. – TU v Liberci - KVM

Konzultant bakalářské práce: Ing. Radek Holubec - TU v Liberci - KVM
Ing. Ludvík László - TU v Liberci - KVM

L.S.

prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 1. 11. 2010

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeném lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ).
Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

Vliv objemu vyrovnávací nádoby na měření průtoku vzduchu do motoru

Anotace

Bakalářská práce se zabývá měřením průtoku vzduchu do motoru a jeho problematikou. Vysvětluje dynamiku proudění vzduchu v sacím traktu motoru s ohledem na objemový pracovní způsob pístového motoru a představuje možná opatření k omezení účinku časově proměnlivých rychlostí vzduchu v sacím potrubí na měření průtoku vzduchu do motoru. Podstatná část práce je tvořena porovnáváním výsledků na různě uspořádaných měřicích tratích a zabývá se vlivem velikosti vyrovnávací nádoby na přesnost měření. Poslední část bakalářské práce je zaměřena na vhodnost použití jednotlivých měřidel a na doporučení pro zástavbu těchto měřidel do sacího traktu motoru.

Klíčová slova: vyrovnávací nádoba, spotřeba vzduchu, průtokoměry, porovnávací měření

Desetinné třídění:

Zpracovatel:

TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno :

2011

Archivní označení zprávy:

Influence volume of stabilization container to measure airflow into the engine

Annotation

This bachelor work consists of measuring airflow through car motors and complications that may arise. It explains the dynamic air circulation in the air tract of the piston motor. It explains possibilities of restricting the influence of pulsation of the airflow in the tract. The body of the work consists of comparing results of various airflow tract constructions and explains the influence how the size of the stabilization container has on the accuracy of the measuring device.

The last part of the bachelor work is aimed at the suitability of usage of individual measuring equipment and at recommending the correct installation of this equipment into airtract motors.

Key words: stabilization container, consumption airflow, flowmeters, comparison measuring

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V dne

.....
podpis

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat prof. Ing. Stanislavu Berounovi, CSc, za cenné rady a informace během celého období tvorby této bakalářské práce a za čas který mi věnoval. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Aleši Dittrichovi a Ing. Martinovi Hoškovi za konzultace a výpomoc při měření. V neposlední řadě děkuji mým rodičům Vladimírovi a Zdeňce Česákovým za podporu v celém období studia.

Seznam symbolů a jednotek

\dot{Q}_v	objemový průtok	[m ³ /s]
V	objemové množství, objem	[m ³]
t	čas	[s]
\dot{Q}_m	hmotnostní průtok	[kg/s]
m	hmotnost proteklého množství vzduchu	[kg]
ρ_{vzd}	hustota vzduchu	[kg/m ³]
S	průtočný průřez	[m ²]
w	střední rychlost proudění	[m/s]
Δt	přírůstek času	[s]
dt	diference času	[s]
λ	součinitel přebytku vzduchu	[-]
M_V	spotřeba vzduchu	[kg/h]
M_P	spotřeba paliva	[kg/h]
L_{VT}	teoretické množství vzduchu potřebné k dokonalé oxidaci 1 kg paliva	[kg/kg]
η_P	dopravní účinnost	[-]
M_{CV}	hmotnost čerstvé náplně	[kg]
M_{teor}	hmotnost teoretického množství čerstvé náplně	[kg]
\dot{m}_{CV}	hmotnostní tok čerstvé náplně	[kg/s]
\dot{m}_{teor}	teoretický hmotnostní tok čerstvé náplně	[kg/s]
V_Z	zdvihový objem jednoho válce	[m ³]
i_V	počet válců	[-]
ρ_1	hustota vzduchu před sacím kanálem	[kg/m ³]
n	otáčky motoru	[1/min]
k_M	součinitel ($k_M=1$ pro 2dobý motor, $k_M=2$ pro 4dobý motor)	[-]
\dot{Q}_T	teoretický objemový průtok	[m ³ /s]
p_n	normální tlak vzduchu	[Pa]
p_b	barometrický tlak vzduchu	[Pa]
t_0	teplota vzduchu při měření	[°C]
ρ_A	hustota suchého vzduchu	[kg/m ³]
ρ_V	hustota vodní páry	[kg/m ³]

M	hmotnost vlhkého vzduchu	[kg]
M_A	hmotnost suchého vzduchu	[kg]
M_V	hmotnost vodní páry	[kg]
p_A	tlak suchého vzduchu	[Pa]
r_A	měrná plynová konstanta suchého vzduchu	[J/kg·K]
p_V	tlak vodní páry	[Pa]
r_V	měrná plynová konstanta vodní páry	[J/kg·K]
T	teplota	[K]
φ	vlhkost vzduchu	[-]
p_V''	parciální tlak nasycených par vody	[Pa]
r	poloměr	[m]
v	výška	[m]
π	Ludolfovo číslo	[-]

Obsah

1	Úvod	13
2	Měření spotřeby vzduchu	14
2.1	Měření průtoku vzduchu	14
2.1.1	Objemové měření průtoku vzduchu	14
2.1.2	Rychlostní měření průtoku vzduchu	15
2.2	Význam měření spotřeby vzduchu v laboratořích	16
2.3	Dynamika proudění vzduchu v sacím traktu motoru	16
2.4	Opatření k omezení účinků pulzací	19
2.5	Směšovací poměry	19
2.6	Dopravní účinnost	20
3	Komponenty použité při měření	21
3.1	Vyrovňovací nádoba válcovitého tvaru	21
3.1.1	Rozměry	21
3.2	Vyrovňovací nádoba ve tvaru komolého tělesa	21
3.2.1	Rozměry	22
3.3	Rotační plynoměr	22
3.3.1	Technická data	22
3.3.2	Popis průtokoměru	23
3.4	Hmotnostní průtokoměr Sierra Inst. 620S L04	23
3.4.1	Technická data	23
3.4.2	Popis průtokoměru	24
3.4.3	Instalace průtokoměru	25
3.4.4	Výpočtové vztahy	25
4	Porovnávací měření na motoru	26
4.1	Motor	26
4.1.1	Technické parametry:	26
4.2	Měřicí trať pro 1. sérii porovnávacích testů	27
4.2.1	Měřicí trať s instalovanou válcovou vyrovnávací nádobou	27
4.2.2	Měřicí trať s demontovanou válcovou vyrovnávací nádobou	29

4.2.3	Vliv vyrovnávací nádoby na měření	32
4.3	Měřicí trať pro 2. sérii porovnávacích testů	34
4.3.1	Měřicí trať s instalovanou válcovou vyrovnávací nádobou	34
4.3.2	Měřicí trať s demontovanou válcovou vyrovnávací nádobou	37
4.3.3	Vliv vyrovnávací nádoby na měření	40
4.4	Měřicí trať pro 3. sérii porovnávacích testů	42
4.4.1	Měřicí trať s instalovanou válcovou vyrovnávací nádobou a Gaselanem... ..	42
4.4.2	Měřicí trať s válcovou vyrovnávací nádobou a odpojeným měřidlem Gaselan	45
4.4.3	Měřicí trať s demontovanou válcovou vyrovnávací nádobou a odpojeným měřidlem Gaselan	48
4.4.4	Vliv vyrovnávací nádoby na měření	50
4.5	Průběhy tlaků před motorem a v komolé vyrovnávací nádobě	51
4.6	Shrnutí výsledků, zásadní poznatky a doporučení pro zástavbu průtokoměrů.....	55
5	Závěr	56
	Seznam použité literatury a softwaru	57
	Literatura:.....	57
	Software:	57
	Seznam použitých obrázků.....	58
	Seznam použitých grafů	59
	Seznam použitých tabulek.....	59
	Seznam příloh	61
	Výkresová dokumentace:	61

1 Úvod

Bakalářská práce s názvem *Vliv objemu vyrovnávací nádoby na měření průtoku vzduchu do motoru*, je experimentální práce zabývající se měřením spotřeby vzduchu v nepřeplňovaných pístových spalovacích motorech a vlivem pulzací, vznikajících v sacím traktu motoru, na výsledek měření.

Tyto pulzace vznikají vlivem sání a neustáleného průtoku vzduchu v sacím potrubí, které jsou závislé na velikosti zdvihového objemu, otevření sacích ventilů a počtu válců.

V rámci této bakalářské práce probíhala veškerá měření v laboratořích KVM na řadovém, kapalinou chlazeném zážehovém tříválci s rozvodem OHC a čtyřmi ventily na válec. Motor s označením SA 1,2 HTP disponuje výkonem 51 kW při otáčkách 5400 1/min .

Bakalářská práce je zaměřena hlavně na ustálení pulzací za měřidly, ve směru od ústí sacího traktu směrem k motoru, pomocí vyrovnávací nádoby. V této práci je zkoumáno, jaký vliv na měření má velikost zmiňované nádoby.

Cílem bakalářské práce jsou poznatky a doporučení pro zástavbu vybraných typů průtokoměrů vzduchu do sacího traktu motorů na zkušebních stanovištích v laboratoři KVM. Tyto poznatky budou použity pro další výzkum v laboratoři KVM.

2 Měření spotřeby vzduchu

V pístovém spalovacím motoru je měření spotřeby vzduchu velice důležité. Zvláště dnes, kdy emisní normy tlačí výrobce nových vozidel ke stále čistějšímu stavu výfukových plynů. Také proto se u nových vozidel nepoužívají karburátory, u kterých se spotřeba vzduchu měřit sice nemusela, na úkor toho však byly emise zplodin vycházejících z výfuků na velice špatné úrovni.

Aby bylo možné tyto emise dodržovat u motorů, kde je směs tvořena vstřikováním paliva ať už přímým, nebo nepřímým a případně tyto emise i snižovat, je důležité dodržet správný směšovací poměr. Tento poměr zajišťuje řídicí jednotka, ve které se shromažďují informace o momentálním stavu tlaku v sacím potrubí, poloze škrticí klapky a o koncentraci zbytkového kyslíku ve výfukových plynech na výstupu z motoru (lambda sonda). Díky těmto informacím je řídicí jednotka schopna stanovit potřebné množství paliva, které je vstřikováno do nasávaného vzduchu.

Podle zjištěného zatížení je zapotřebí odměřovat hmotnost vzduchu a paliva vstupujících do motoru z důvodu dodržení potřebného přebytku vzduchu (většinou stechiometrická, v režimech vysokého zatížení obohacovaná směs), tj. daného směšovacího poměru, a vzájemně tyto hmotnosti přizpůsobovat.

Měření spotřeby vzduchu se provádí pomocí měřiče množství vzduchu. Měřič množství vzduchu je nejdůležitějším snímačem pro správnou přípravu směsi. Předává informace o okamžitém objemovém množství nasávaného vzduchu řídicí jednotce.

2.1 Měření průtoku vzduchu

Měření spotřeby vzduchu lze rozdělit podle metody měření do dvou skupin.

2.1.1 Objemové měření průtoku vzduchu

Objemové měření průtoku vzduchu, je měření, kdy je průtok definován jako objem vzduchu proteklý za jednotku času. Vztah pro objemový průtok Q_v lze tedy napsat ve tvaru:

$$\dot{Q}_v = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Pro hmotnostní průtok Q_m platí analogicky:

$$\dot{Q}_m = \frac{m}{t} = \frac{V}{t} \cdot \rho \quad (2)$$

„Objemová měřicí metoda patří mezi absolutní metody měření průtoku a proteklého množství média a proto objemových měřidel lze použít jako etalonů při ověřování jiných průtokoměrů a měřidel proteklého množství a pro přesná měření vůbec.“ [1]

2.1.2 Rychlostní měření průtoku vzduchu

Rychlostní měření průtoku vzduchu je měření, kdy je průtok definován součinem střední rychlosti proudění w a průtočného průřezu S , tedy

$$\dot{Q}_V = S \cdot w \quad (3)$$

resp.
$$\dot{Q}_m = S \cdot w \cdot \rho_{vzd} \quad (4)$$

Množství vzduchu tj. proteklý objem V , nebo hmotnost m média se určuje buď přímo měřením objemu, nebo hmotnosti, nebo integrací průtoku v čase Δt , tedy

$$V = \int_{\Delta t} \dot{Q}_v \cdot dt \quad \text{resp.} \quad m = \int_{\Delta t} \dot{Q}_m \cdot dt \quad (5,6)$$

„Základní vlastností rychlostních měřidel je zjišťování rychlosti proudění měřeného média a to buď rychlosti v měřícím místě, nebo střední rychlosti. Průtok se určuje ze změřené rychlosti dodatečně, např. početně, graficky, apod., nebo průtok resp. proteklé množství udává měřidlo přímo analogově, popř. číslicově. Podle toho se také rychlostní měřidla dělí na dvě skupiny – měřidlo rychlosti a měřidla průtoku, resp. proteklého množství.“ [1]

2.2 Význam měření spotřeby vzduchu v laboratořích

V laboratorních podmínkách je pro měření důležitá přesnost používaných měřidel a vhodnosti jejich použití. Přesnost měřidel se zjišťuje porovnáním naměřených dat s daty udávanými výrobcem motoru, na kterém měření probíhá. Dalším hlediskem je zjištění vhodnosti uspořádání a umístění jednotlivých komponent používaných při měření.

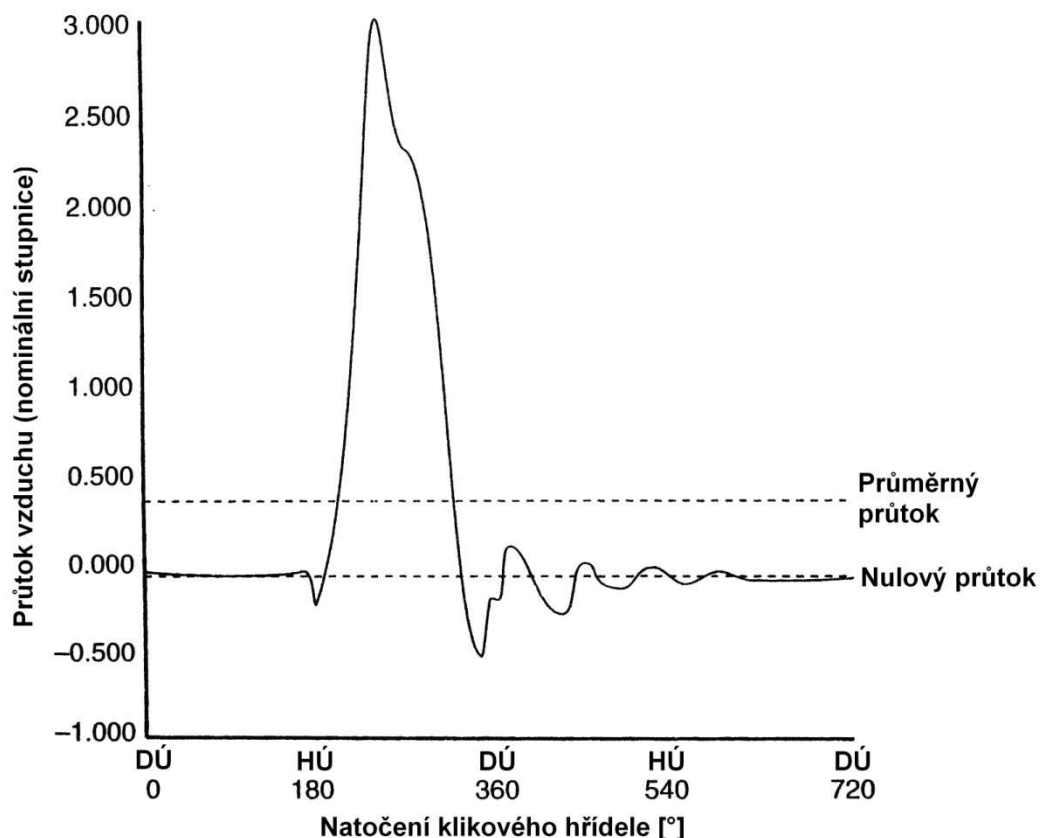
V laboratořích KVM se měří charakteristiky pístových spalovacích motorů. Bez přesného měření spotřeby vzduchu by byl výzkum optimálního spalování paliv téměř nemožný a nebylo by možné docílit správného směšovacího poměru. Z tohoto důvodu má měření v laboratořích velký význam pro výzkum a vývoj pístových spalovacích motorů v laboratořích KVM.

V laboratořích, na rozdíl od praktického použití, takřka nejsou měřidla omezena prostorem, tudíž se klade větší význam na přesnost měření. Ve vozidlech je zapotřebí volit vhodné měřidlo ať z hlediska rozměrů tak i váhy.

Měření spotřeby vzduchu v laboratořích je důležité pro zjištění vhodné konstrukce sacího traktu pístových spalovacích motorů a následné stanovení dopravní neboli plnicí účinnosti. Měření poněkud komplikují pulzace v sacím traktu, které jsou popsány níže.

2.3 Dynamika proudění vzduchu v sacím traktu motoru

S přihlédnutím k objemovému pracovnímu způsobu pístového motoru je zřejmé, že v sacím potrubí pístového spalovacího motoru neprotéká nasávaný vzduch stejnou rychlostí, ale rychlost průtoku je proměnlivá v závislosti na okamžité rychlosti pístu ve válci motoru (Obr. 2). Tyto proměnlivé rychlosti jsou spojeny s proměnlivostí tlaku v potrubí, tzv. pulzacemi. Pulzace vznikají sáním jednotlivých válců v kombinaci s otevíráním a zavíráním sacích ventilů. Z fyzikálního hlediska to jsou podélné vlny, které se sacím potrubím šíří rychlostí zvuku, které se na začátku sacího potrubí odrazí od tlakového rozhraní a putují zpět k válci. To se projeví v sacím traktu motoru jako časově proměnlivé rychlosti média, pohybujícího se sacím potrubím viz. níže:

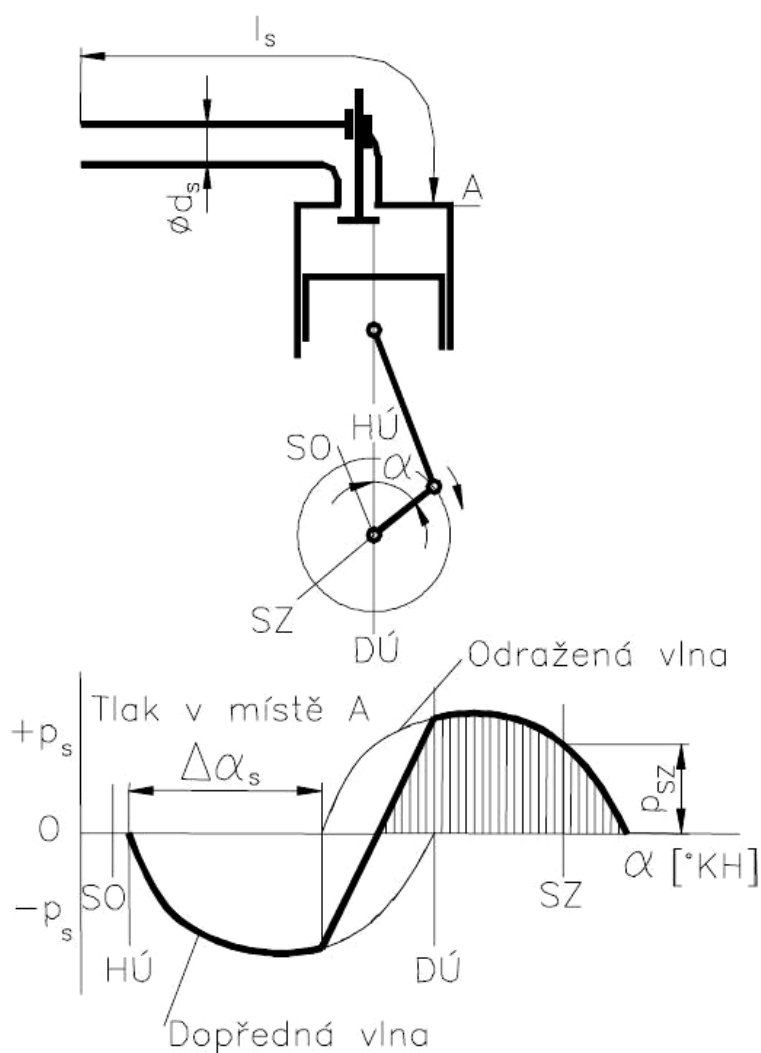


Obr. 1: Časový průběh průtoku (rychlosti) nasávaného vzduchu do jednoho válce 4dobého dieselového motoru

Při pohybu pístu směrem k dolní úvrati, se v prostoru nad pístem tvoří podtlak (tento podtlak je při překrytí ventilů také ovlivněn tlakovými vlnami ve výfukovém potrubí, ale pro zjednodušení tohoto přiblížení tuto možnost nebudeme uvažovat). Při otevřeném sacím ventilu se podtlaková (primární) vlna šíří v sacím potrubí směrem od sacího ventilu po délce sacího nátrubku a uvádí do pohybu sloupec vzduchu směrem od válce motoru. Když primární podtlaková vlna dorazí k nátrubku sacího potrubí, narazí na tlakové rozhraní (náhlá změna průřezu). V tomto okamžiku se primární podtlaková vlna odráží a mění se na přetlakovou (sekundární) vlnu. Při zanedbání hydraulických ztrát můžeme říct, že primární i sekundární vlna mají stejnou modulaci (amplitudu, tvar a vlnovou délku). Tato sekundární přetlaková vlna se stejnou rychlostí (rychlost zvuku) se pohybuje zpět směrem k místu kde byla vybuzena, tj. k sacímu ventilu a do válce motoru (Obr.1). Postupem tlakových vln (tj. šířením podélného vlnění) v sacím potrubí dochází k místním a časovým změnám hustoty nasávaného vzduchu. Okamžitý tlak a hustota vzduchu v každém místě potrubí a určitém okamžiku jsou dány superpozicí elementárních tlakových vln. [2]

Pulzací se sice využívá pro větší stupeň naplnění válce, ovšem z hlediska měření jsou pulzace nežádoucím jevem. Měřicí přístroje jsou konstruovány pro ustálený průtok jedním směrem, vlivem pulzací mohou vznikat i stavy, kdy médium protéká opačným směrem, tedy od motoru k ústí sacího traktu. Těmto stavům nejsou přístroje přizpůsobeny a vznikají chyby měření, které jsou v některých případech tak veliké, že nemohou být zanedbány.

Tyto chyby se projevují hlavně v pístových spalovacích motorech, které nejsou přeplňované. U přeplňovaných motorů je objem sacího traktu větší, takže vzniká jakýsi vzduchový tlumič pulzací a neumožní jim takové šíření. Dále je zde turbodmychadlo a mezichladič, který sám o sobě funguje jako vyrovnávací nádoba. U nepřeplňovaných motorů je třeba tento problém řešit jiným opatřením.



Obr. 2: Dynamické jevy v sacím potrubí. [3]

2.4 Opatření k omezení účinků pulzací

Možností opatření k omezení účinků časově proměnlivých rychlostí není mnoho, objemový pracovní způsob pístového motoru se takřka měnit nedá, až na proměnlivé časování ventilů. To však nevyřeší pulzace v sacím traktu motoru. Proto je na místě zaměřit se na sací potrubí, zde se může měnit velikost, jako je délka a průměr sacího potrubí, nebo tvar sacího potrubí. Možná opatření jsou otázkou realizace a funkčnosti vůbec.

V této bakalářské práci je eliminace pulzací řešena pomocí vyrovnávací nádoby, která má za úkol mít k dispozici takový objem média, ve kterém jsou pulzace schopny se uklidnit. Funkce spočívá v náhlém rozšíření nebo zvětšení sacího průřezu a tím k nárazu do rozhraní dvou průřezů, od kterého se vlna částečně odrazí a částečně se pulzace rozptýlí po celém objemu média ve vyrovnávací nádobě. Tím by mělo být zaručeno, že rozptýlené pulzace se nebudou šířit do prostředí před vyrovnávací nádobou směrem k měřicím přístrojům. U měřicích přístrojů se díky vyrovnávací nádobě zaručí průtok pouze jedním směrem a měření probíhá s minimální chybou.

Vyrovňovací nádoba musí být vždy umístěna mezi motorem a měřicím průtokem. Uspořádání sacího traktu přitom musí zachovat průtokové vlastnosti sacího potrubí motoru (tj. neovlivnit dynamiku plnění válců motoru)

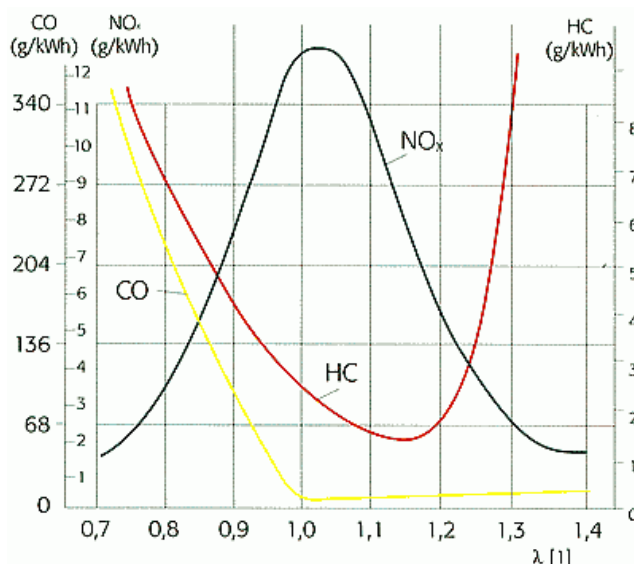
2.5 Směšovací poměry

Pojmem směšovací poměr se rozumí poměr mezi množstvím paliva a množstvím vzduchu. Je charakterizován součinitelem přebytku vzduchu λ . Tento součinitel vychází ze vztahu:

$$\lambda = \frac{M_v}{M_p \cdot L_{VT}} = \frac{\dot{m}_{cv}}{\dot{m}_p \cdot L_{VT}} \quad (7)$$

Každý motor pracuje s jiným součinitelem přebytku vzduchu, zvláště pak zážehový oproti vznětovému. U zážehového motoru je snaha udržet směšovací poměr blízký jedné ($\lambda=1$) pak se jedná o tzv. stechiometrickou, ideální, nebo také 100% bohatou směs. Oproti tomu vznětový motor pracuje vždy se směsí chudou ($\lambda>1$), což znamená, že motor pracuje s větším množstvím vzduchu, než kdyby se jednalo o směs stechiometrickou.

Bohatá směs ($\lambda < 1$), je skoro ve všech ohledech nepříznivá a proto se používá jen ve výjimečných případech, jako je například maximální zatížení motoru. V tomto případě se používá z důvodu většího hmotnostního naplnění válce motoru a z důvodu větší spotřeby tepla, které je potřebné pro odpaření více paliva a pro ohřev zvýšené hmotnostní náplně ve válci motoru. Tím se sníží teploty spalování a chrání se spalovací prostor válce motoru a třicestný katalytický reaktor před vysokými teplotami výfukových plynů. Provoz na bohatou směs je velmi nepříznivý k životnímu prostředí, jelikož z důvodu malého množství vzduchu dochází k nedokonalému vyhoření paliva a tím k vysoké produkci emisí, zejména CO. Z důvodu nedokonalého vyhoření paliva dochází i k vyšší spotřebě paliva a tudíž je tento provoz také neekonomický.



Obr. 3: Závislost hlavních škodlivin na součiniteli přebytku vzduchu lambda u zážehových motorů [4]

2.6 Dopravní účinnost

Dopravní, nebo také plnicí účinnost označována značkou η_P je bezrozměrná veličina stanovující schopnost naplnění válce čerstvým médiem. Tato veličina je charakterizována vztahem:

$$\eta_P = \frac{M_{cv}}{M_{teor}} = \frac{\dot{m}_{cv}}{\dot{m}_{teor}} = \frac{\dot{m}_{cv}}{V_Z \cdot i_v \cdot \rho_1 \cdot \frac{n}{60 \cdot k_M}} \quad (8)$$

Účinnost se účinkem přeplňování, nebo účinkem zvolení vhodné délky potrubí (tzv. dynamického doplňování) může dostat nad hodnotu 1, což znamená účinnost vyšší než 100%.

3 Komponenty použité při měření

Při měření průtoku vzduchu v laboratoři KVM, bylo použito několik variant uspořádání měřicí tratě. Sestava měřících tratí byla vytvořena s komponentami, jako jsou trubky z PVC různých průměrů, ocelové trubky, vzduchové filtry apod. Nejdůležitější komponenty z hlediska měření jsou měřidla spotřeby vzduchu a vyrovnávací nádoby. Na základě předchozích měření byla vybrána pro měření průtoku vzduchu do motoru tato měřidla: plynoměr Gaselan a hmotnostní průtokoměr Sierra.

3.1 Vyrovnávací nádoba válcovitého tvaru

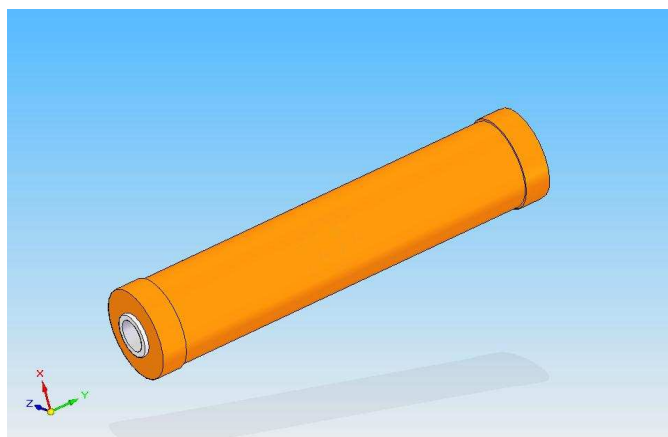
Tato nádoba se dá z měřicí tratě snadno demontovat, proto se při měření nejčastěji srovnávají data naměřená s touto vyrovnávací nádobou a bez ní.

3.1.1 Rozměry

Průměr: 200 mm

Délka: 1000 mm

Objem: $V = \pi \cdot r^2 \cdot v = \pi \cdot 0,1^2 \cdot 1 = 0,0314 \text{ m}^3$ (9)



Obr. 4: Válcová vyrovnávací nádoba

3.2 Vyrovnávací nádoba ve tvaru komolého tělesa

Tato nádoba je na pevně spojena s rotačním plynoměrem Gaselan, proto je obtížné tuto nádobu demontovat. Z toho důvodu bylo zapotřebí uskutečnit měřicí tratě tak, aby se využilo i této nádoby bez náročné demontáže a zjistil se vliv této nádoby na měření.

3.2.1 Rozměry

Výška v : 460 mm

Hloubka dolní stěny: 550 mm

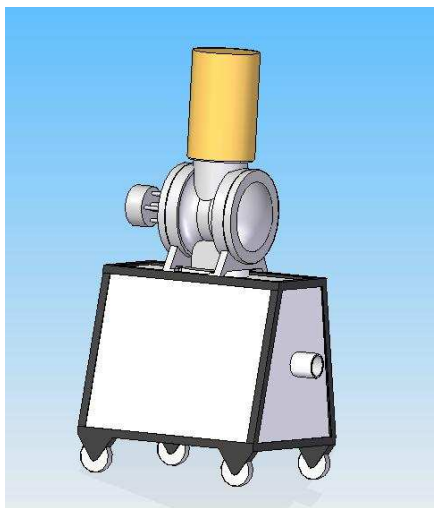
Hloubka horní stěny: 300 mm

Šířka: 740 mm

Hloubka stěny uprostřed tělesa $b_{stř}$: $b_{stř} = \frac{550+300}{2} = 425\text{mm}$ (10)

Objem: $V = 2 \cdot \left(\frac{v}{2} \cdot a \cdot b_{stř}\right)$

$$V = 2 \cdot \left(\frac{0,46}{2} \cdot 0,74 \cdot 0,425\right) = 0,145 \text{ m}^3 \quad (11)$$



Obr. 5: Rotační plynoměr Gaselan s komolou vyrovnávací nádobou

3.3 Rotační plynoměr

3.3.1 Technická data

Výrobce: GASELAN, NDR

Typ: GZDA DN 150

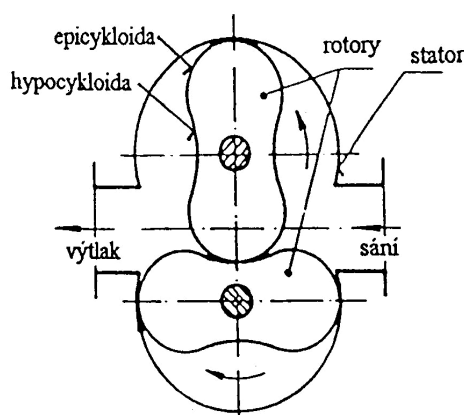
Měřicí rozsah: 30 až 360 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (0,00833 až 0,1 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Maximální provozní tlak: 1 MPa

Chyba průtokoměru při kalibraci: $\pm 1,70\%$ [7]

3.3.2 Popis průtokoměru

Toto měřidlo je v principu obdobou zubového čerpadla. Má dva rotující a po sobě se odvalující píсты zvláštního tvaru, které jsou ve své podstatě rotory se dvěma zuby (Obr.6). Obrys boků zubů je tvořen zčásti epicykloidami, zčásti hypocykloidami. Médium je dopravováno po vnitřním obvodu statoru. Vlivem podtlaku vytvořeného sáním motoru se písty, po překonání pasivních odporů, uvedou do pohybu ve směru proudění média. Při pohybu pístů se prostor mezi pístem a statorem měřidla zcela vyplní nasávaným médiem. Tento prostor má známý objem, proto stačí pro zjištění objemového množství nasátého vzduchu, pouze zjistit počet otáček za jednotku času. Pro zpřehlednění výsledků měření byl v laboratořích KVM k měřidlu instalován elektronický čítač otáček a tyto otáčky jsou převáděny pomocí upraveného převodu do počítačů, které zaznamenává objemový průtok plynu v litrech za minutu. Součástí měřidla je vyrovnávací nádoba, která má za úkol potlačit pulzace za měřidlem. [7]



Obr. 6: Schéma principu plynoměru [9]

3.4 Hmotnostní průtokoměr Sierra Inst. 620S L04

3.4.1 Technická data

Výrobce:	Sierra instruments
Řada, typ:	Sierra620S Fast-Flo, L04
Maximální průtok:	$3000\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($0,050\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)
Maximální provozní tlak:	150PSIG (1 000 kPa)
Provozní teplota:	-30°C až 70°C

3.4.2 Popis průtokoměru

Fast-Flo™ snímač se skládá ze dvou snímacích prvků – snímač rychlosti a teplotní senzor, který automaticky koriguje změny teploty v plynu (Obr.7). Při zapnutí napájení průtokoměru zahřívá elektronika převodníku snímač rychlosti na konstantní rozdíl teploty nad teplotu plynu a měří účinek ochlazení protékajícího plynu. Elektrická energie potřebná k udržení konstantního teplotního rozdílu je přímo úměrná hmotnostnímu průtoku plynu. Oba senzory jsou platinové odporové detektory teploty zapouzdřené ve skleněné trubičce. Platinový drát je pro pevnost a stabilitu navinut na keramický robustní trn. Senzor je umístěn na špičce snímače o průměru 0,375 palce (3/8"), která se vkládá do proudu měřeného média. Elektronika, která je umístěna v pouzdru přímo na snímači, převádí naměřený příkon na aktuální objemový průtok. Tyto hodnoty jsou zobrazovány přímo na displeji průtokoměru nebo na PC připojeném k průtokoměru. [7,8]



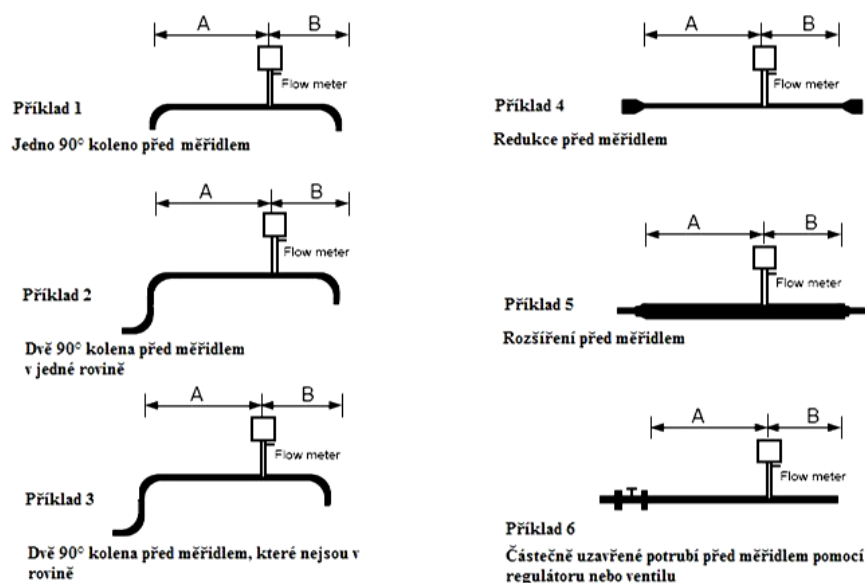
Obr. 7: Fast-Flo™ snímač [8]



Obr. 8: Fast- Flo™ snímač

3.4.3 Instalace průtokoměru

Hmotnostní průtokoměr Sierra Inst. 620S L04 je kalibrován již z výroby na potrubí o vnitřním průměru 56mm. Aby průtokoměr měřil co nejpřesněji je od výrobce požadována instalace na potrubí s danými minimálními uklidňovacími délkami před průtokoměrem a za průtokoměrem. Tyto minimální délky závisí na uspořádání potrubí (Obr.9). Délky jsou definované jako $k \times D$ přičemž k je konstanta závisející na uspořádání tratě a D je vnitřní průměr potrubí. [7]



Obr. 9: Uspořádání tratí pro měřidlo Sierra Inst. 620S L04 [8]

Příklad	A Požadavky proti proudu	B Požadavky po proudu
1	10 D	5 D
2	15 D	5 D
3	25 D	10 D
4	10 D	5 D
5	20 D	5 D
6	25 D	10 D

Tab. 1: Minimální délky potrubí před a za měřidlem v závislosti na uspořádání tratě [8]

3.4.4 Výpočtové vztahy

U průtokoměru Sierra Inst. 620S L04 stačí přepočítat pouze teoretický objemový průtok (Q_T) na skutečné podmínky.

$$\dot{Q}_V = \dot{Q}_T \cdot \left(\frac{p_n}{p_b} \right) \cdot \frac{(273,15 + t_0)}{273,15} \quad (13)$$

4 Porovnávací měření na motoru

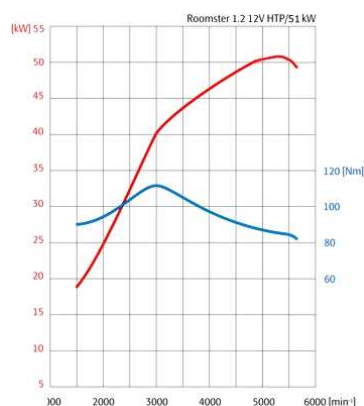
Měřidla byla porovnávána na motoru 1.2 HTP, v různých otáčkových režimech, za různých podmínek. Nejsledovanějším parametrem byly měřené hodnoty průtoků a vliv uspořádání měřicí tratě na výsledek měření, přičemž významným činitelem byl objem vyrovnávací nádoby. K dispozici byly dvě vyrovnávací nádoby, první je součástí objemového měřidla Gaselan o velikosti objemu $0,145 \text{ m}^3$ a druhá je válcovitého tvaru o velikosti objemu $0,0314 \text{ m}^3$. Při všech provozních režimech motoru byla měřena spotřeba paliva a pomocí měřidla Lambda meter LA4_E od firmy ETAS, byla pro každý režim zjišťována i hodnota součinitele přebytku vzduchu lambda.

4.1 Motor

Měření probíhalo na řadovém, kapalinou chlazeném tříválci s rozvodem 2 x OHC a čtyřmi ventily na válec (Škoda Auto, typ EA111.03E). Tento motor dosahuje maximálního výkonu při 5400 1/min^{-1} .



Obr. 10: Motor 1.2 HTP [6]



Obr. 11: Vnější otáčková charakteristika

4.1.1 Technické parametry:

Počet válců	3
Zdvihový objem [cm^3]	1198
Vrtání [mm]	76,5
Zdvih [mm]	86,9
Největší výkon při otáčkách/min [kW/min^{-1}]	51/5400
Největší točivý moment při 1/min [Nm]	112/3000 26

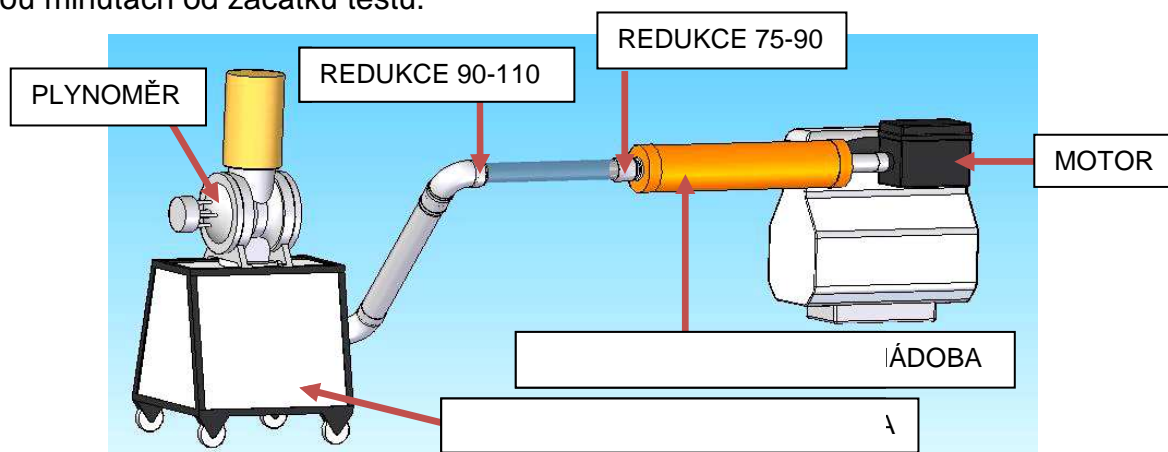
4.2 Měřicí trať pro 1. sérii porovnávacích testů

4.2.1 Měřicí trať s instalovanou válcovou vyrovnávací nádobou

Aby bylo možné zjistit vliv velikosti válcové vyrovnávací nádoby na výsledek měření spotřeby (průtoku) vzduchu rotačním plynoměrem Gaselan, musela se uskutečnit dvě měření na téže trati. Jedno měření probíhalo s instalovanou válcovou vyrovnávací nádobou a druhé měření probíhalo bez této nádoby (viz.4.2.2)

4.2.1.1 Uspořádání měřicí trati s instalovanou válcovou vyrovnávací nádobou

Nejprve byla měřicí trať tvořena motorem, válcovou vyrovnávací nádobou a rotačním plynoměrem s komolou vyrovnávací nádobou (viz.Obr.12 resp. Obr.13). Jediným měřidlem byl tedy rotační plynoměr, který na displeji ukazuje aktuální hodnotu průtoku v litrech za minutu. Tyto hodnoty byly z displeje odečítány vždy po dvou minutách od začátku testu.



Obr. 12: Schéma uspořádání měřicí trati s válcovou vyrovnávací nádobou



Obr. 13: Reálné uspořádání měřicí trati

4.2.1.2 Průběh měření

Po sestavení měřicí tratě se nejprve zahřál motor a po té následoval již předem naprogramovaný test měření v režimech vnější otáčkové charakteristiky motoru. Tento test začíná na hodnotě $5500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a otáčky klesají až k hodnotě $1500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ (viz. tab. 2). V každém režimu otáček běžel motor cca 2 minuty.

4.2.1.3 Atmosférické podmínky při měření

Stav atmosférického vzduchu byl odečten z přístrojů v době měření v laboratoři KVM, parciální tlak určen podle teploty vzduchu z termodynamických tabulek.

proměnné hodnoty				neměnná hodnota	spočtená hodnota
barometrický tlak p_b [kPa]	teplota vzduchu t_0 [°C]	vlhkost vzduchu φ_{vzd} [%]	parciální tlak nasycených par vody p'' [Pa]	měrná plynová konst. suchého vzduchu r_{vzd} [J/kg·K]	hustota vzduchu ρ_{vzd} [kg/m ³]
96,79	20,7	25	2455	287,15	1,151

Tab. 2: Atmosférické podmínky při měření první varianty uspořádání měřicí tratě s vyrovnávací nádobou

Výpočet hustoty vlhkého vzduchu:

$$\begin{aligned}
 \rho_{vzd} &= \rho_A + \rho_V = \frac{M}{V} = \frac{M_A + M_V}{V} = \frac{p_A}{r_A \cdot T} + \frac{p_V}{r_V \cdot T} = \frac{p_b - \varphi \cdot p_V''}{r_A \cdot T} + \frac{\varphi \cdot p_V''}{r_V \cdot T} = \\
 &= \frac{1}{T} \cdot \left(\frac{p_b}{r_A} - \frac{\varphi \cdot p_V''}{r_A} + \frac{\varphi \cdot p_V''}{r_V} \right) = \frac{1}{T} \cdot \left(\frac{p_b}{r_A} - \varphi \cdot p_V'' \cdot \left(\frac{1}{r_V} - \frac{1}{r_A} \right) \right) = \\
 &= \frac{1,316 \cdot 10^{-3}}{T} \cdot (2,65 \cdot p_b + \varphi \cdot p_V'') \quad (14)
 \end{aligned}$$

4.2.1.4 Naměřené hodnoty a výpočty

Rotační plynoměr Gaselan měří aktuální průtok v $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$, proto je potřeba tuto hodnotu přepočítat na základní veličinu $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$$1 \left[\frac{\text{l}}{\text{min}} \right] = \frac{1}{1000 \cdot 60} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = 1,667 \cdot 10^{-5} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Otáčky [min ⁻¹]	měření s válcovou vyrovnávací nádobou		
	naměřeno	spočteno	
	skutečný objemový průtok Q_s [l·min ⁻¹]	skutečný hmotnostní průtok Q_s [kg·s ⁻¹]	Dopravní účinnost η [-]
5500	2910	0,060700365	0,88346699
5000	2740	0,057154295	0,915041068
4500	2457	0,051251133	0,911904148
4000	2232	0,046557806	0,931738898
3750	2188	0,045639999	0,974522577
3500	2027	0,042281663	0,967042881
3000	1768	0,036879122	0,984058765
2750	1555	0,032436106	0,944529837
2500	1296	0,027033565	0,865615492
2000	1054	0,02198563	0,879975626
1750	933	0,019461663	0,890232864
1500	761,5	0,015717959	0,847693155

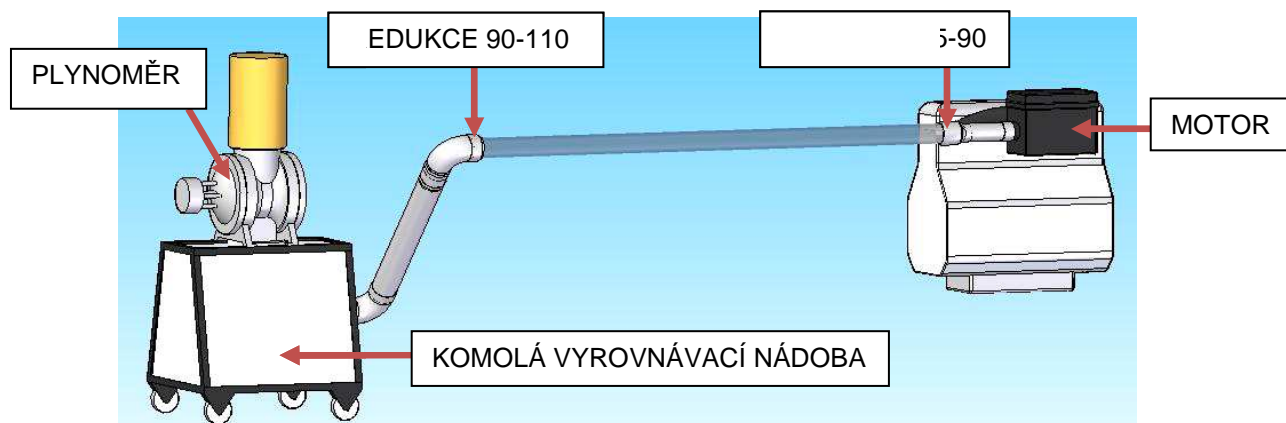
Tab. 3: Hodnoty průtoků první varianty měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou

4.2.2 Měřicí trať s demontovanou válcovou vyrovnávací nádobou

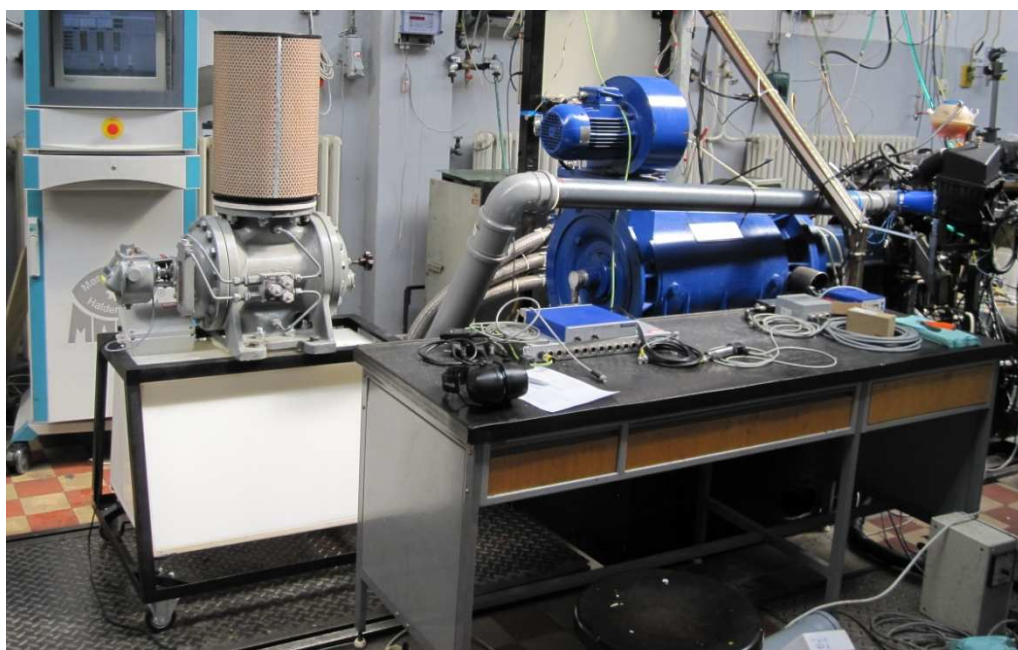
Po změření hodnot s instalovanou válcovou vyrovnávací nádobou se tato nádoba demontovala a měření probíhalo obdobně jako s válcovou vyrovnávací nádobou.

4.2.2.1 Uspořádání měřicí tratě s demontovanou válcovou vyrovnávací nádobou

Z měřicí tratě se demontovala válcová vyrovnávací nádoba, tudíž byla trať tvořena pouze motorem, potrubím a rotačním plynoměrem s komolou vyrovnávací nádobou (viz Obr.15 resp. Obr.16)



Obr. 14: Schéma uspořádání měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby



Obr. 15: Reálné uspořádání měřicí tratě

4.2.2.2 Průběh měření

Viz. 4.2.1.2

4.2.2.3 Atmosférické podmínky při měření

proměnné hodnoty				neměnná hodnota	spočtená hodnota
barometrický tlak p_b [kPa]	teplota vzduchu t_0 [°C]	vlhkost vzduchu ϕ_{vzd} [%]	parciální tlak nasycených par vody p_{parc} [Pa]	měrná plynová konst. suchého vzduchu r_{vzd} [J/kg·K]	hustota vzduchu ρ_{vzd} [kg/m ³]
97,22	24,4	25,1	3170	287,15	1,143

Tab. 4: Atmosférické podmínky při měření první varianty uspořádání měřicí tratě bez vyrovnávací nádoby

4.2.2.4 Naměřené a vypočtené hodnoty pomocí λ

Pro porovnání přesnosti měření na plynoměru, byla při měření měřena spotřeba paliva a hodnota λ . Pomocí vztahu (7) byl dopočítán aktuální průtok a následně podle vztahu (8) dopravní účinnost.

Otáčky [min ⁻¹]	měření bez válcové vyrovnávací nádoby			
	naměřeno		spočteno	
	λ [-]	spotřeba paliva [g·s ⁻¹]	skutečný hmotnostní průtok Q_s [kg·s ⁻¹]	Dopravní účinnost η [-]
5500	0,823	4,799	0,046000828	0,837774978
5000	0,85	4,42	0,043757878	0,876618598
4500	0,858	3,92	0,039173143	0,872161379
4000	0,872	3,52	0,035749849	0,895238285
3750	0,898	3,35	0,03503775	0,936149464
3500	0,867	3,1	0,031303713	0,895884941
3000	0,919	2,58	0,027615333	0,922047834
2750	0,932	2,3	0,024966566	0,909721582
2500	0,897	2,03	0,021208187	0,849743716
2000	0,899	1,6	0,016753083	0,839052563
1750	0,915	1,38	0,0147067	0,84178585
1500	0,951	1,1	0,012250408	0,818057288

Tab. 5: Vypočtené hodnoty pomocí λ a spotřeby paliva 1. varianty měřicí tratě

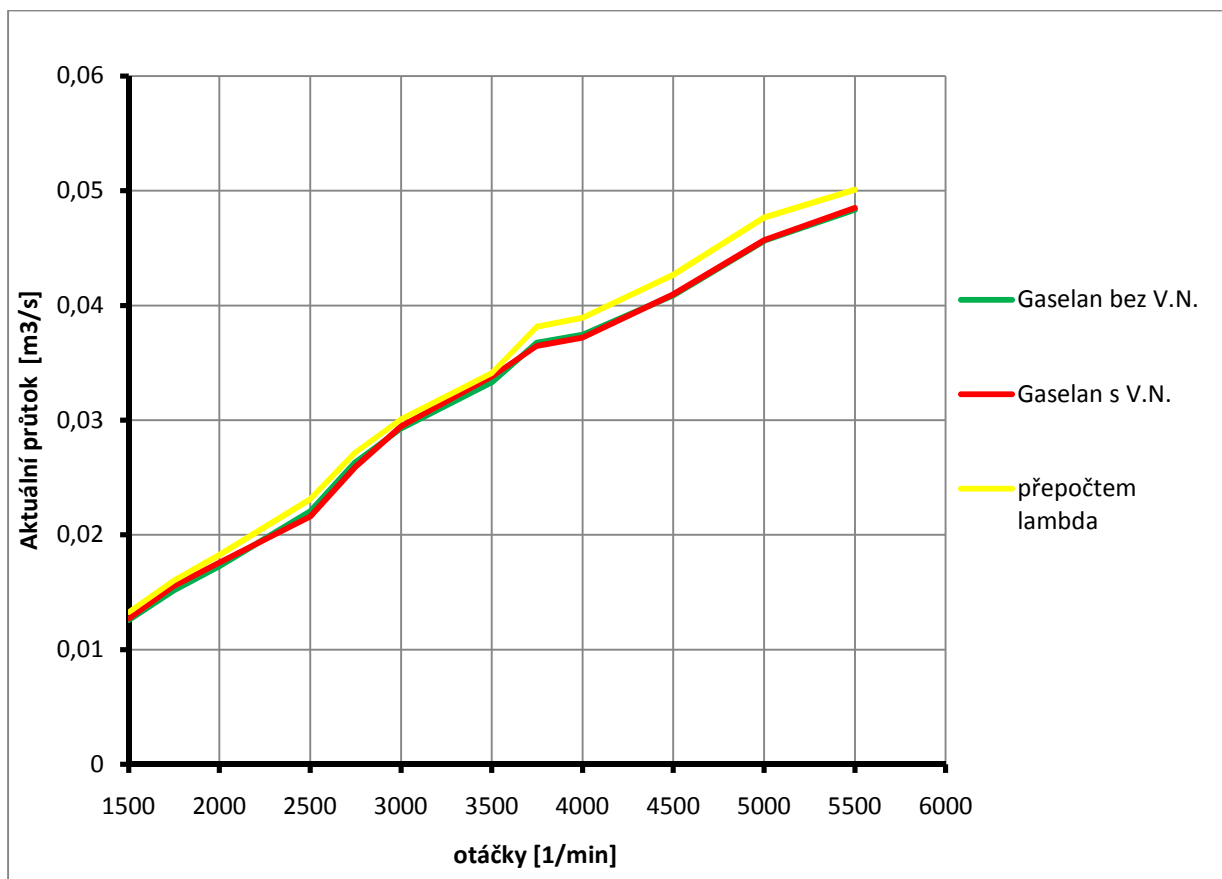
4.2.2.5 Naměřené hodnoty a výpočty

Otáčky [min ⁻¹]	měření bez válcové vyrovnávací nádoby		
	naměřeno	spočteno	
	skutečný objemový průtok Q_s [l·min ⁻¹]	skutečný hmotnostní průtok Q_s [kg·s ⁻¹]	Dopravní účinnost η [-]
5500	2950	0,061534734	0,895610867
5000	2769	0,057759213	0,92472581

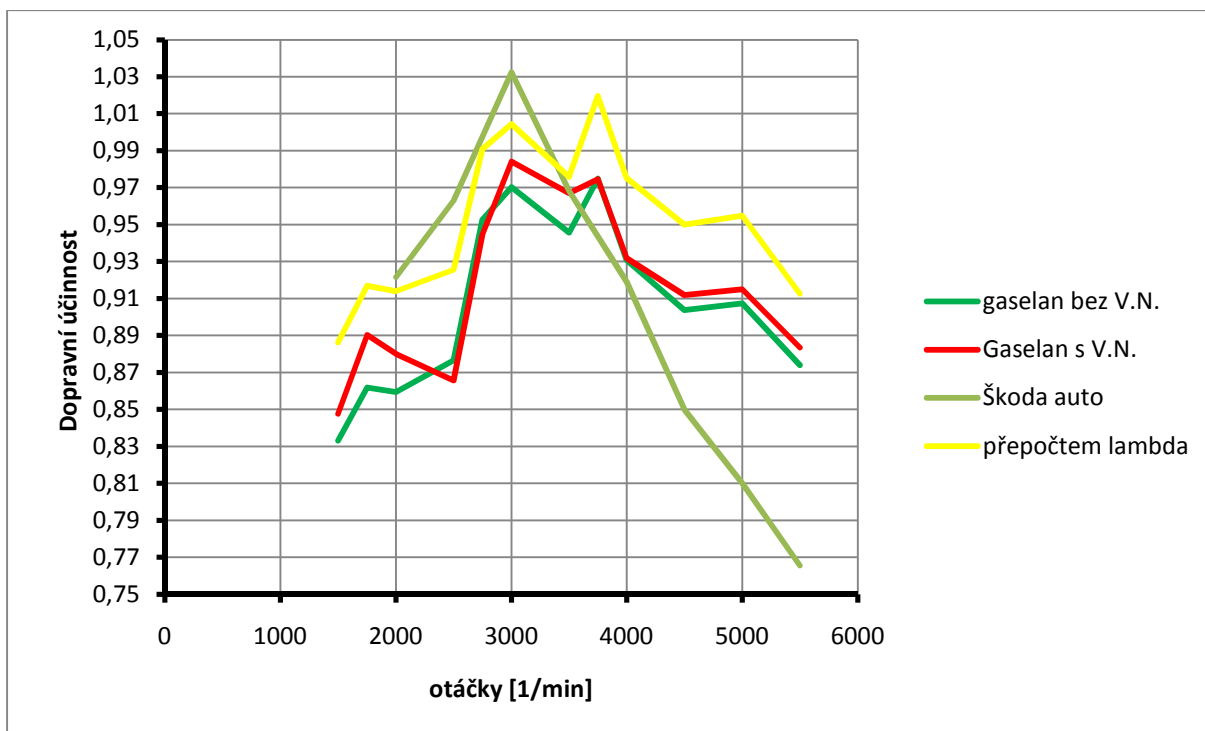
4500	2477	0,051668317	0,919327055
4000	2260	0,047141864	0,943427379
3750	2225	0,046411791	0,991002164
3500	2010	0,041927056	0,958932507
3000	1769	0,036899981	0,984615359
2750	1591	0,033187038	0,966396765
2500	1321	0,027555045	0,882313322
2000	1037	0,021631023	0,865782471
1750	910,8	0,018998588	0,869050475
1500	753,3	0,015548705	0,838565008

Tab. 6: Hodnoty průtoků první varianty měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby

4.2.3 Vliv vyrovnávací nádoby na měření



Graf 1: Porovnání aktuálních průtoků 1. varianty měřicí tratě v závislosti na otáčkách



Graf 2: Porovnání dopravních účinností 1. varianty měřící tratě v závislosti na otáčkách

4.2.3.1 Zhodnocení

Z grafu závislosti aktuálního průtoku na otáčkách je vidět, že na měření průtokoměrem Gaselan, nemá válcová vyrovnávací nádoba téměř žádný vliv, tvar křivky je takřka stejný, až na malé výchylky v oblasti otáček od 2500 1/min – 4000 1/min. Spočtený aktuální průtok vycházející ze změřené spotřeby paliva a hodnoty lambda je vyšší v celém rozsahu otáček než změřený průtok plynoměrem Gaselan.

Z druhého grafu, tedy závislosti dopravní účinnosti na otáčkách, je zřetelný rozdíl v obou křivkách vycházejících z měření na plynoměru Gaselan, ani jedna tato křivka se nepřibližuje „ideální“ křivce, pro kterou jsou data pořízena ze Škoda Auto. Tento rozdíl je však dán také měřítkem použitým na ose y. Maximální rozdíl dopravní účinnosti při měření s válcovou vyrovnávací nádobou a bez ní je při otáčkách 3500 1/min a má velikost zhruba 0,02 což je rozdíl 2% v dopravní účinnosti. Z grafu je zřetelné, že při otáčkách 3750-4000 1/min nemá vyrovnávací nádoba na měření vůbec žádný vliv.

Hodnoty dopravní účinnosti vycházející ze změřené spotřeby paliva a hodnoty lambda jsou přirozeně, stejně jako aktuální průtoky, také vyšší.

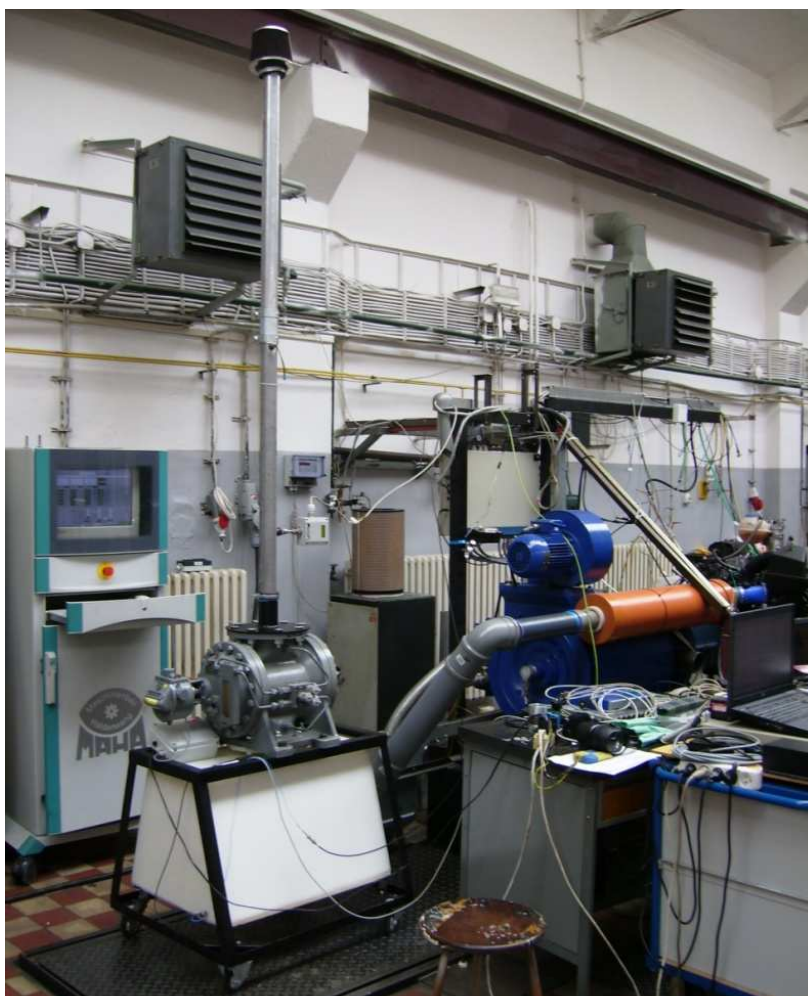
4.3 Měřicí trať pro 2. sérii porovnávacích testů

4.3.1 Měřicí trať s instalovanou válcovou vyrovnávací nádobou

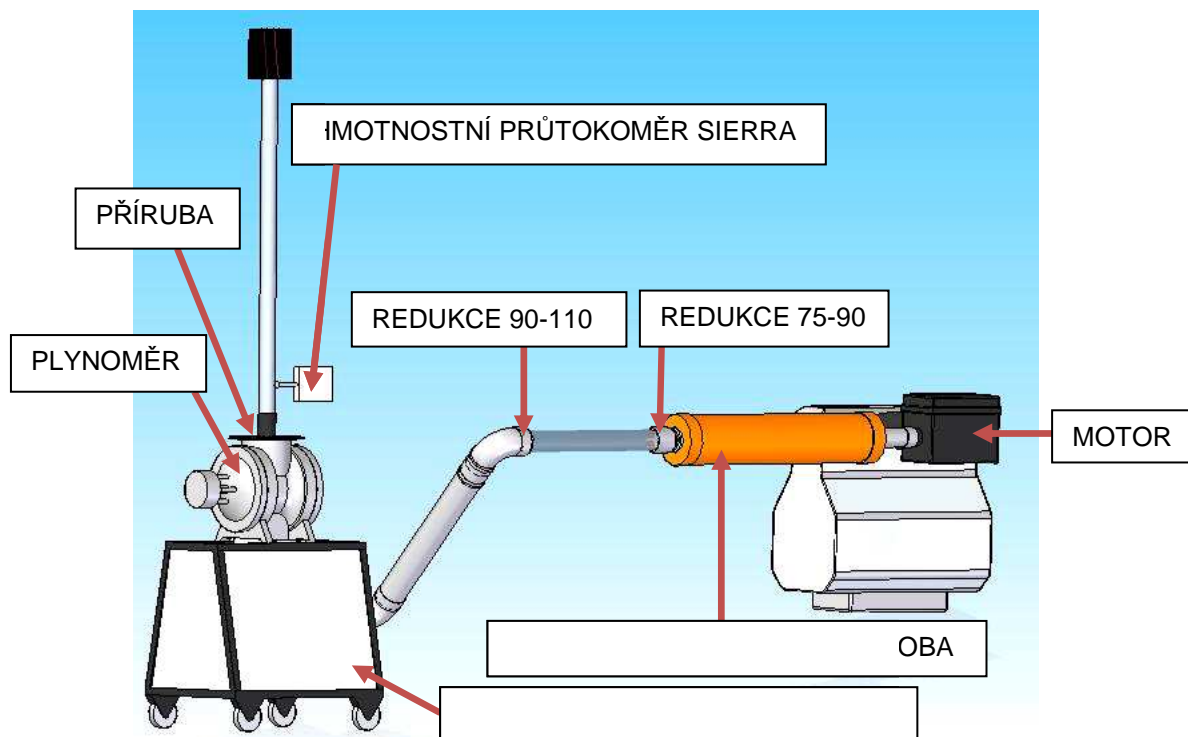
Viz. 4.2.1

4.3.1.1 Uspořádání měřicí tratě s instalovanou válcovou vyrovnávací nádobou

Nejprve byla měřicí trať sestavena z motoru, válcové vyrovnávací nádoby, rotačního plynoměru s komolou vyrovnávací nádobou a hmotnostního průtokoměru Sierra (viz.Obr.16 resp. Obr.17). Hodnoty průtoků byly z měřidel odečítány po 2 minutách.



Obr. 16: Reálné uspořádání 2. varianty měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou



Obr. 17: Schéma uspořádání 2. varianty měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou

4.3.1.2 Průběh měření

Viz. 4.2.1.2

4.3.1.3 Atmosférické podmínky při měření

proměnné hodnoty				neměnná hodnota	spočtená hodnota
barometrický tlak p_b [kPa]	teplota vzduchu t_0 [°C]	vlhkost vzduchu ϕ_{vzd} [%]	parciální tlak nasycených par vody p'' [Pa]	měrná plynová konst. suchého vzduchu r_{vzd} [J/kg·K]	hustota vzduchu ρ_{vzd} [kg/m ³]
97,42	25,7	33,7	3320	287,15	1,142

Tab. 7: Atmosférické podmínky při měření druhé varianty uspořádání měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou

4.3.1.4 Naměřené hodnoty a výpočty

Ze změřených hodnot průtokoměru Sierra se dopočítá skutečný průtok vzduchu pomocí vztahu (13).

Otáčky [min ⁻¹]	měření s válcovou vyrovnávací nádobou					
	naměřeno		spočteno			
	skutečný objemový průtok plynoměru Gaselan Q _s [l·min ⁻¹]	teoretický průtok průtokoměru Sierra Q _T [l·min ⁻¹]	skutečný hmotnostní průtok plynoměru Gaselan Q _s [kg·s ⁻¹]	skutečný hmotnostní průtok průtokoměru Sierra [kg·s ⁻¹]	Dopravní účinnost dle plynoměru Gaselan η [-]	Dopravní účinnost dle průtokom ěru Sierra η [-]
5500	2800	2400	0,053292	0,051596	0,850071	0,823010
5000	2653	2280	0,050494	0,049016	0,885986	0,860046
4500	2383	2060	0,045355	0,044286	0,884439	0,863590
4000	2170	1880	0,041301	0,040417	0,905857	0,886450
3750	2122	1830	0,040388	0,039342	0,945126	0,920645
3500	1950	1700	0,037114	0,036547	0,930307	0,916089
3000	1699	1485	0,032337	0,031925	0,945653	0,933602
2750	1488	1296	0,028321	0,027861	0,903833	0,889174
2500	1250	1100	0,023791	0,023648	0,834891	0,829869
2000	1018	903	0,019375	0,019413	0,849919	0,851558
1750	891	793	0,016958	0,017048	0,850158	0,854657
1500	729,5	662	0,013884	0,014231	0,812071	0,832383

Tab. 8: Hodnoty průtoků druhé varianty měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou

4.3.2 Měřicí trať s demontovanou válcovou vyrovnávací nádobou

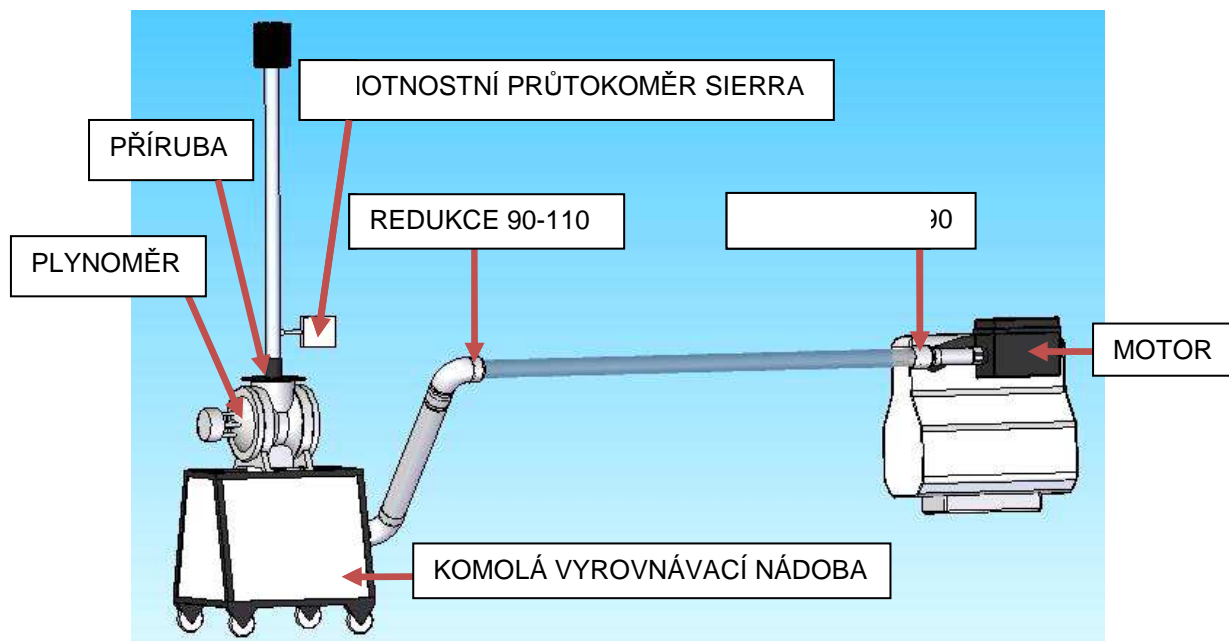
Viz. 4.2.2

4.3.2.1 Uspořádání měřicí tratě s demontovanou válcovou vyrovnávací nádobou

Z měřicí tratě se demontovala válcová vyrovnávací nádoba, tudíž byla trať tvořena pouze motorem, potrubím, rotačním plynoměrem s komolou vyrovnávací nádobou a průtokoměrem Sierra (viz Obr.18 resp. Obr.19)



Obr. 18: Reálné uspořádání 2. varianty měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby



Obr. 19: Schéma uspořádání 2. varianty měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby

4.3.2.2 Průběh měření

Viz. 4.2.1.2

4.3.2.3 Atmosférické podmínky při měření

proměnné hodnoty				neměnná hodnota	spočtená hodnota
barometrický tlak p_b [kPa]	teplota vzduchu t_0 [°C]	vlhkost vzduchu ϕ_{vzd} [%]	parciální tlak nasycených par vody p_{parc} [Pa]	měrná plynová konst. suchého vzduchu r_{vzd} [J/kg·K]	hustota vzduchu ρ_{vzd} [kg/m ³]
97,42	25,7	33,7	3320	287,15	1,142

Tab. 9: Atmosférické podmínky při měření druhé varianty uspořádání měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby

4.3.2.4 Naměřené a vypočtené hodnoty pomocí λ

Otáčky [min ⁻¹]	měření bez válcové vyrovnávací nádoby			
	naměřeno		spočteno	
	λ [-]	spotřeba paliva [g·s ⁻¹]	skutečný hmotnostní průtok Q_s [kg·s ⁻¹]	Dopravní účinnost η [-]
5500	0,827	4,766	0,050055617	0,9116215
5000	0,85	4,333	0,04677361	0,937033918

4500	0,86	3,866	0,042223436	0,94007393
4000	0,87	3,467	0,038305961	0,959247783
3750	0,897	3,3	0,037592366	1,004404486
3500	0,87	3,116	0,034427856	0,98529518
3000	0,92	2,583	0,030179046	1,007647612
2750	0,93	2,283	0,026963864	0,982498331
2500	0,9	1,983	0,022665145	0,908119322
2000	0,9	1,516	0,017327463	0,867819523
1750	0,917	1,383	0,016105892	0,921873154
1500	0,953	1,133	0,013712482	0,915691647

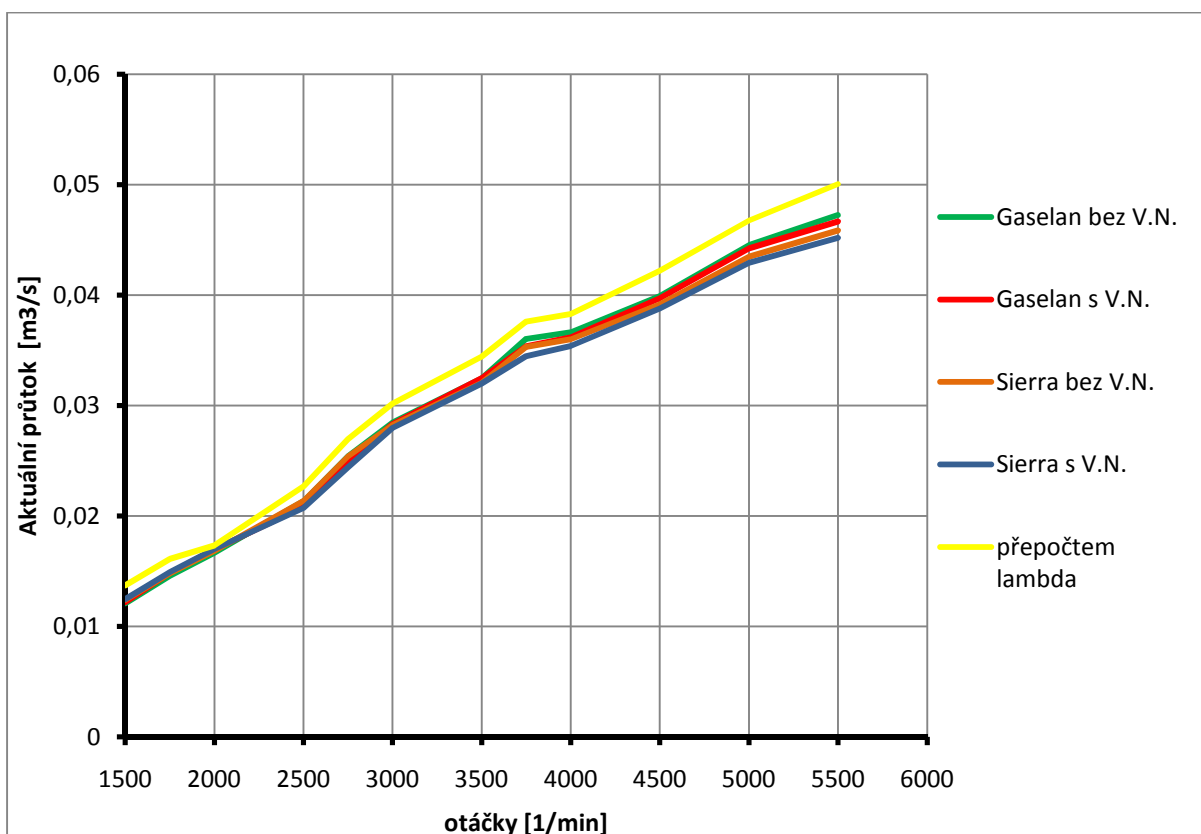
Tab. 10: Vypočtené hodnoty pomocí λ a spotřeby paliva 2. varianty měřicí tratě

4.3.2.5 Naměřené hodnoty a výpočty

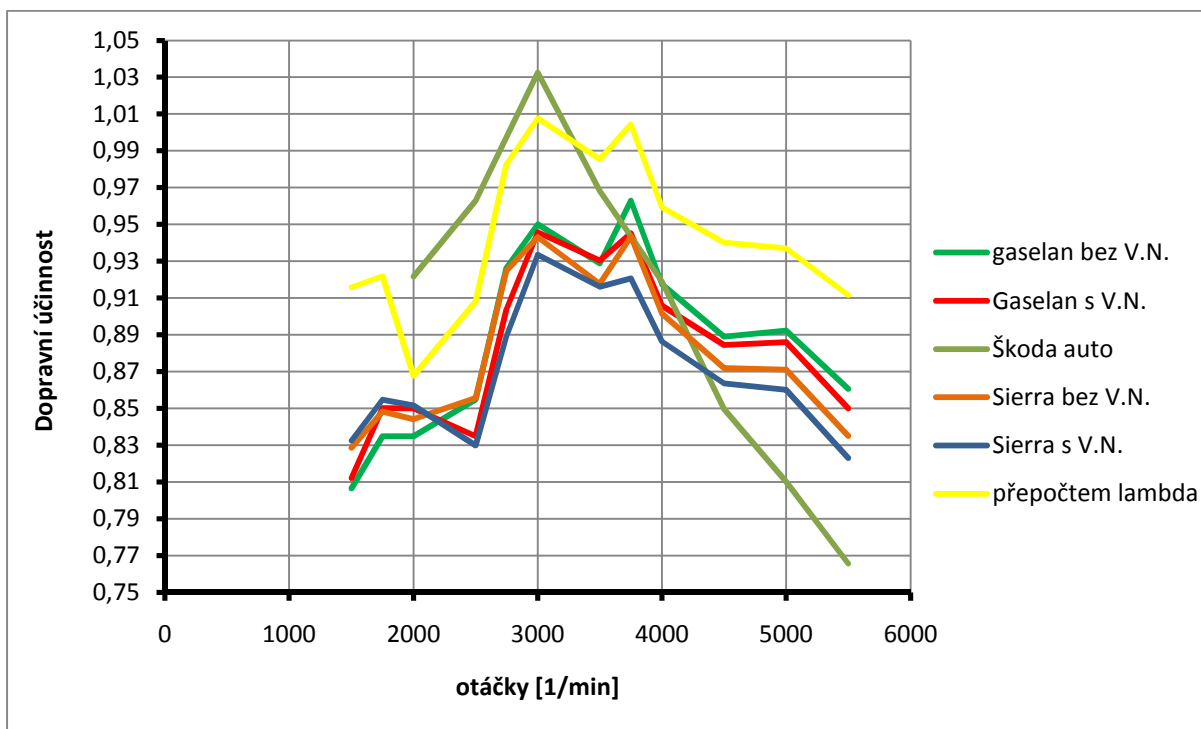
Otáčky [min ⁻¹]	měření s válcovou vyrovnávací nádobou					
	naměřeno		spočteno			
	skutečný objemový průtok plynoměru Gaselan Q _s [l·min ⁻¹]	teoretický průtok průtokoměru Sierra Q _T [l·min ⁻¹]	skutečný hmotnostní průtok plynoměru Gaselan Q _s [kg·s ⁻¹]	skutečný hmotnostní průtok průtokoměru Sierra [kg·s ⁻¹]	Dopravní účinnost dle plynoměru Gaselan η [-]	Dopravní účinnost dle průtokoměru Sierra η [-]
5500	2835	2435	0,053958	0,052348	0,860697	0,835012
5000	2672	2309	0,050856	0,049639	0,892332	0,870985
4500	2395	2080	0,045584	0,044716	0,888893	0,871975
4000	2198	1912	0,041834	0,041105	0,917545	0,901539
3750	2162	1875	0,041149	0,040309	0,962942	0,943284
3500	1947	1703	0,037057	0,036611	0,928876	0,917705
3000	1707	1500	0,032489	0,032247	0,950106	0,943032
2750	1525	1348	0,029025	0,028979	0,926307	0,924851
2500	1280	1134	0,024362	0,024379	0,854928	0,855519
2000	1000	895	0,019033	0,019241	0,834891	0,844014
1750	875	787	0,016653	0,016919	0,834891	0,848190
1500	724,5	659	0,013789	0,014167	0,806505	0,828611

Tab. 11: Hodnoty průtoků druhé varianty měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby

4.3.3 Vliv vyrovnávací nádoby na měření



Graf 3: Porovnání aktuálních průtoků 2. varianty měřicí tratě v závislosti na otáčkách



Graf 4: Porovnání dopravních účinností 2. varianty měřicí tratě v závislosti na otáčkách

4.3.3.1 Zhodnocení

Z grafu závislosti aktuálního průtoku na otáčkách je vidět, že hodnoty obou průtokoměrů jsou vyšší při měření bez válcové vyrovnávací nádoby. Tvary křivek jsou znovu takřka stejné. Nejvyšší hodnoty průtoku má křivka, které je docíleno pomocí změřené spotřeby paliva a hodnoty λ . Lze si všimnout, že plynoměr Gaselan měří vyšší hodnoty průtoků než průtokoměr Sierra.

Z druhého grafu, tedy závislosti dopravní účinnosti na otáčkách, jsou určité rozdíly v jednotlivých křivkách. „Ideální“ dopravní účinnosti je nejbližší křivka vycházející ze spotřeby paliva a naměřené hodnoty λ . Z měření na takto uspořádané trati vyplývá, že válcová vyrovnávací nádoba má na měření od otáček 2000 1/min spíše negativní vliv a dále, že nepatrně přesněji v takto uspořádané trati měří plynoměr Gaselan. Nižší průtok vzduchu do motoru při použití vyrovnávací nádoby zřejmě souvisí se zvýšením průtokových odporů účinkem turbulence ve vyrovnávací nádobě.

4.4 Měřicí trať pro 3. sérii porovnávacích testů

4.4.1 Měřicí trať s instalovanou válcovou vyrovnávací nádobou a Gaselanem

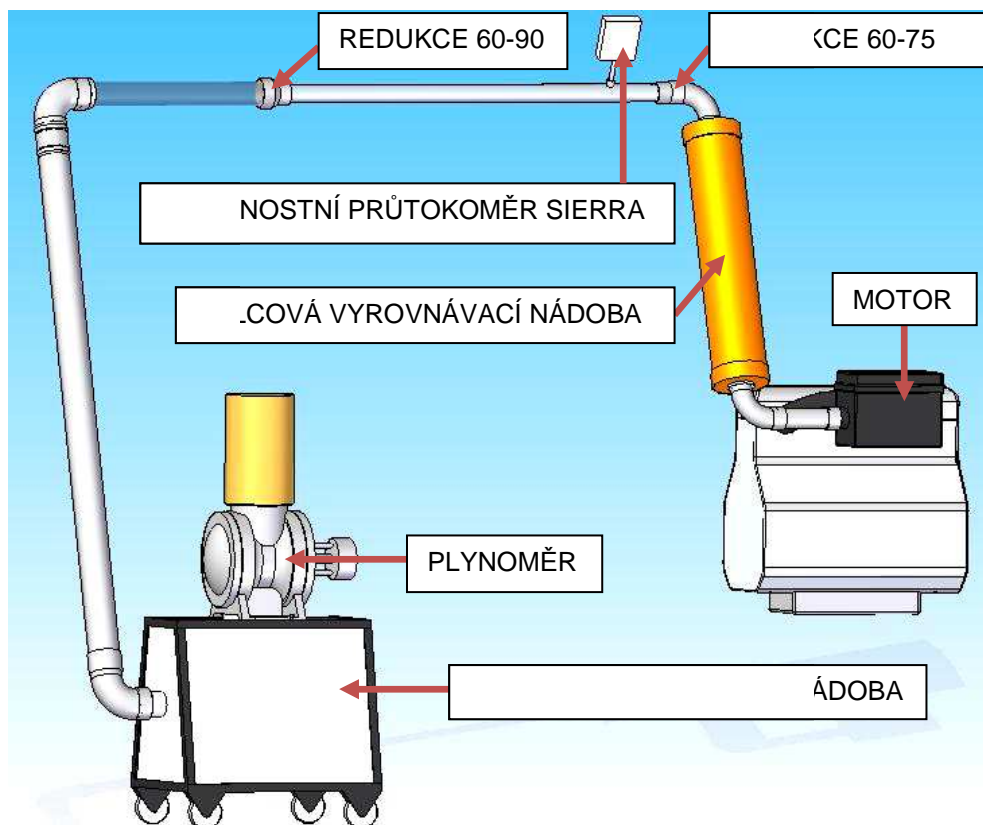
Z důvodu zjištění vlivu vyrovnávací nádoby na měření a vlivu instalace měřidla Gaselan za měřidlo Sierra probíhalo měření následovně. Nejdříve byla měřicí trať tvořena motorem, válcovou vyrovnávací nádobou, měřidlem Sierra a plynoměrem Gaselan, poté bylo odpojeno měřidlo Gaselan a následovně demontovaná válcová vyrovnávací nádoba.

4.4.1.1 Uspořádání měřicí trati s instalovanou válcovou vyrovnávací nádobou

V tomto případě byla měřicí trať sestavena z motoru, vyrovnávací nádoby, hmotnostního průtokoměru Sierra a rotačního plynoměru Gaselan s komolou vyrovnávací nádobou (viz. Obr.20 resp. Obr.21).



Obr. 20: Reálné uspořádání 3. varianty měřicí trati s válcovou vyrovnávací nádobou



Obr. 21: Schematické uspořádání 3. varianty měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou

4.4.1.2 Průběh měření

Viz. 4.2.1.2

4.4.1.3 Atmosférické podmínky při měření

proměnné hodnoty				neměnná hodnota	spočtená hodnota
barometrický tlak p_b [kPa]	teplota vzduchu t_0 [°C]	vlhkost vzduchu ϕ_{vzd} [%]	parciální tlak nasycených par vody p'' [Pa]	měrná plynová konst. suchého vzduchu r_{vzd} [J/kg·K]	hustota vzduchu ρ_{vzd} [kg/m ³]
97,31	24	32,1	3003	287,15	1,146

Tab. 12: Atmosférické podmínky při měření třetí varianty uspořádání měřicí tratě s vyrovnávací nádobou

4.4.1.4 Naměřené hodnoty a výpočty

Otáčky [min ⁻¹]	měření s válcovou vyrovnávací nádobou						
	naměřeno			spočteno			
	skutečný objemový průtok plynoměru Gaselan Q _s [l·min ⁻¹]	teoretický průtok průtokoměru Sierra Q _T [l·min ⁻¹]	statický tlak za měřidlem Sierra p [Pa]	skutečný hmotnostní průtok plynoměru Gaselan Q _s [kg·s ⁻¹]	skutečný hmotnostní průtok průtokoměru Sierra [kg·s ⁻¹]	Dopravní účinnost dle plynoměru Gaselan η [-]	Dopravní účinnost dle průtokoměru Sierra η [-]
5500	2840	2490	96089	0,052270	0,0542267	0,8622152	0,861531
5000	2681	2355	95904	0,049343	0,0513856	0,8953376	0,89803
4500	2408	2120	95909	0,044319	0,0462558	0,8937180	0,898402
4000	2180	1925	95972	0,040122	0,0419731	0,9100317	0,916921
3750	2153	1890	96109	0,039625	0,0411513	0,9589337	0,959154
3500	1962	1730	97000	0,036110	0,0373217	0,9360326	0,931782
3000	1735	1485	96334	0,031932	0,0322577	0,9656911	0,939578
2750	1568	1340	96114	0,028859	0,0291746	0,9524262	0,927367
2500	1297	1145	96162	0,023871	0,0249164	0,8662834	0,870896
2000	1007	907	96075	0,018534	0,0197553	0,8407357	0,863126
1750	893	805	96080	0,016435	0,0175327	0,8520663	0,875450
1500	770	695	96086	0,014171	0,0151359	0,8571552	0,881739

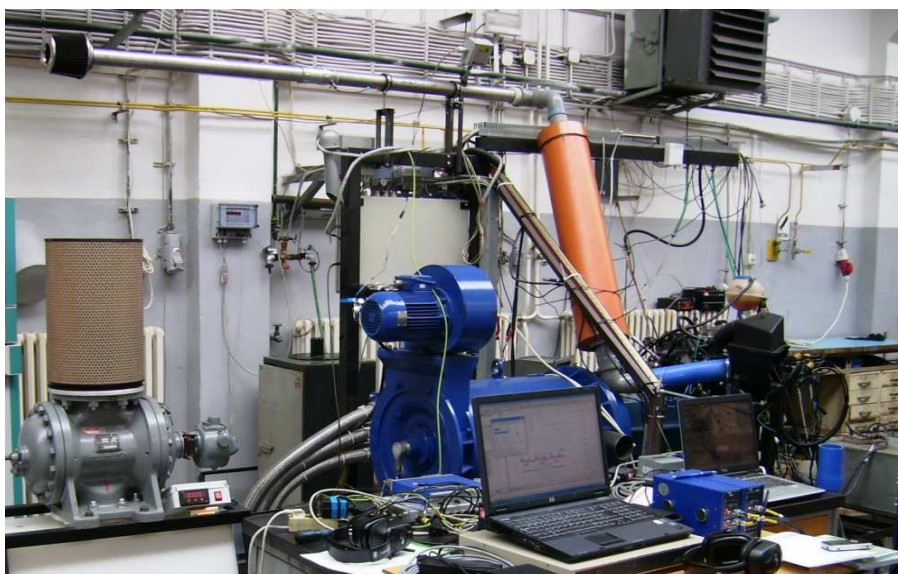
Tab. 13: Hodnoty průtoků třetí varianty měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou s měřidlem Gaselan

4.4.2 Měřicí trať s válcovou vyrovnávací nádobou a odpojeným měřidlem Gaselan

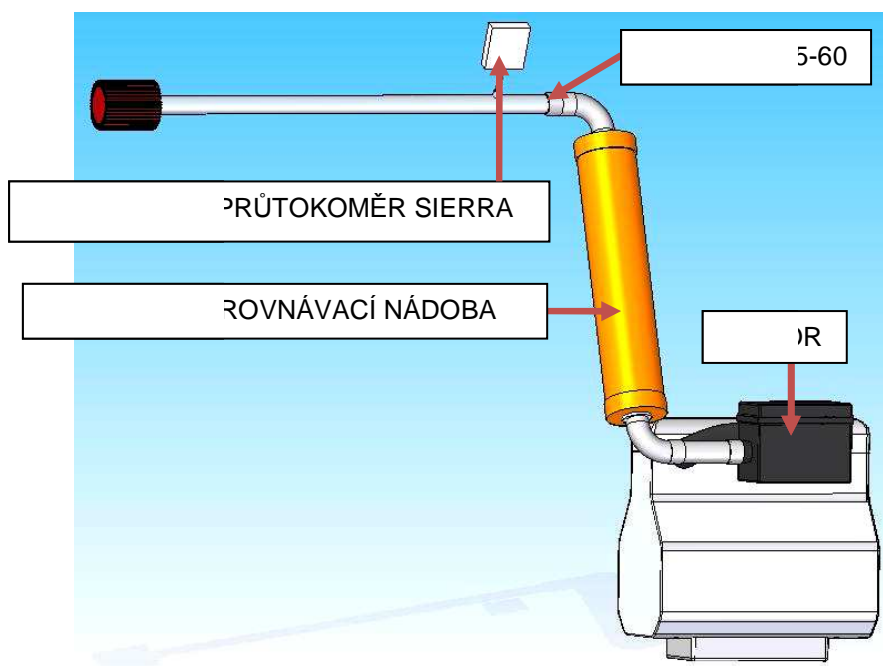
Po změření hodnot na předchozím uspořádání měřicí trati se odpojilo měřidlo Gaselan a probíhalo měření obdobně jako v předchozím případě.

4.4.2.1 Uspořádání měřicí trati s odpojeným měřidlem Gaselan

Měřicí trať tvořena pouze motorem, válcovou vyrovnávací nádobou a průtokoměrem Sierra(viz Obr.22 resp. Obr.23)



Obr. 22: Reálné uspořádání 3. varianty měřicí trati bez měřidla Gaselan



Obr. 23: Schematické uspořádání 3. varianty měřicí trati bez měřidla Gaselan

4.4.2.2 Průběh měření

Viz. 4.2.1.2

4.4.2.3 Atmosférické podmínky při měření

proměnné hodnoty				neměnná hodnota	spočtená hodnota
barometrický tlak p_b [kPa]	teplota vzduchu t_0 [°C]	vlhkost vzduchu φ_{vzd} [%]	parciální tlak nasycených par vody p_{parc} [Pa]	měrná plynová konst. suchého vzduchu r_{vzd} [J/kg·K]	hustota vzduchu ρ_{vzd} [kg/m ³]
97,31	24	32,1	3003	287,15	1,146

Tab. 14: : Atmosférické podmínky při měření třetí varianty uspořádání měřicí tratě s vyrovnávací nádobou bez měřidla Gaselan

4.4.2.4 Naměřené a vypočtené hodnoty pomocí λ

Otáčky [min ⁻¹]	měření bez válcové vyrovnávací nádoby			
	naměřeno		spočteno	
	λ [-]	spotřeba paliva [g·s ⁻¹]	skutečný hmotnostní průtok Q_s [kg·s ⁻¹]	Dopravní účinnost η [-]
5500	0,83225	4,767	0,057526368	0,913954895
5000	0,856818	4,367	0,054255001	0,948178855
4500	0,861727	3,9	0,048730662	0,94646991
4000	0,875659	3,484	0,044236541	0,966366058
3750	0,905443	3,317	0,043548639	1,015031788
3500	0,878944	3,084	0,039304618	0,98128696
3000	0,926851	2,584	0,034727253	1,011508821
2750	0,948607	2,317	0,031869875	1,013038885
2500	0,903831	2,017	0,026433893	0,923935426
2000	0,886528	1,634	0,021004508	0,917704815
1750	0,914567	1,45	0,019228771	0,960138705
1500	0,979978	1,1	0,015630649	0,910555138

Tab. 15: Vypočtené hodnoty pomocí λ a spotřeby paliva 3. varianty měřicí tratě

4.4.2.5 Naměřené hodnoty a výpočty

Otáčky [min ⁻¹]	měření s válcovou vyrovnávací nádobou bez měřidla Gaselan		
	naměřeno	spočteno	
	teoretický průtok průtokoměru Sierra Q_T [l·min ⁻¹]	skutečný hmotnostní průtok průtokoměru Sierra [kg·s ⁻¹]	Dopravní účinnost dle průtokoměru Sierra η [-]
5500	2510	0,053976483	0,857555806
5000	2360	0,050750797	0,886938196
4500	2120	0,045589699	0,885464649
4000	1920	0,041288784	0,901971047
3750	1890	0,040643647	0,947322218
3500	1740	0,037417961	0,934184298
3000	1495	0,03214934	0,93642133
2750	1380	0,029676314	0,943312753
2500	1155	0,024837784	0,868147132
2000	905	0,01946164	0,850295622
1750	790	0,016988614	0,848282294
1500	655	0,014085497	0,820543105

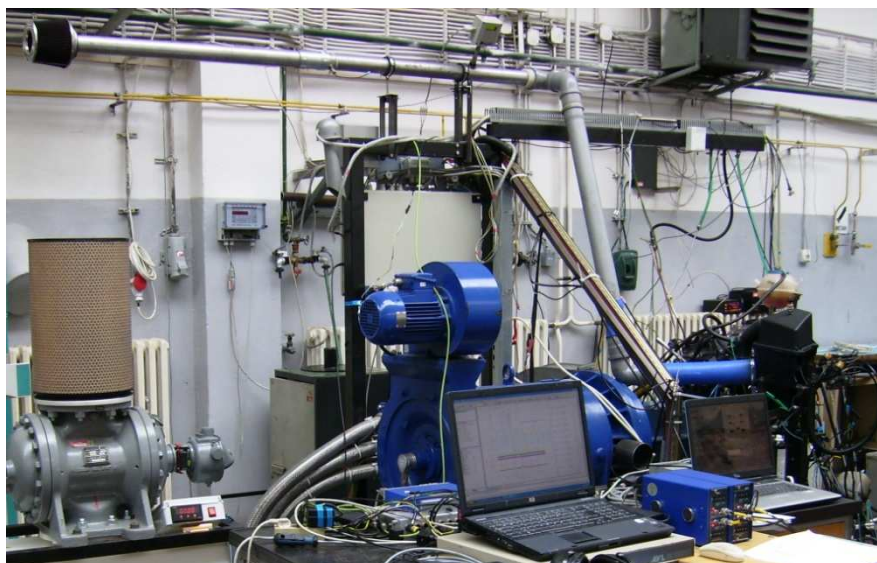
Tab. 16: Hodnoty průtoků druhé varianty měřící tratě bez válcové vyrovnávací nádoby

4.4.3 Měřicí trať s demontovanou válcovou vyrovnávací nádobou a odpojeným měřidlem Gaselan

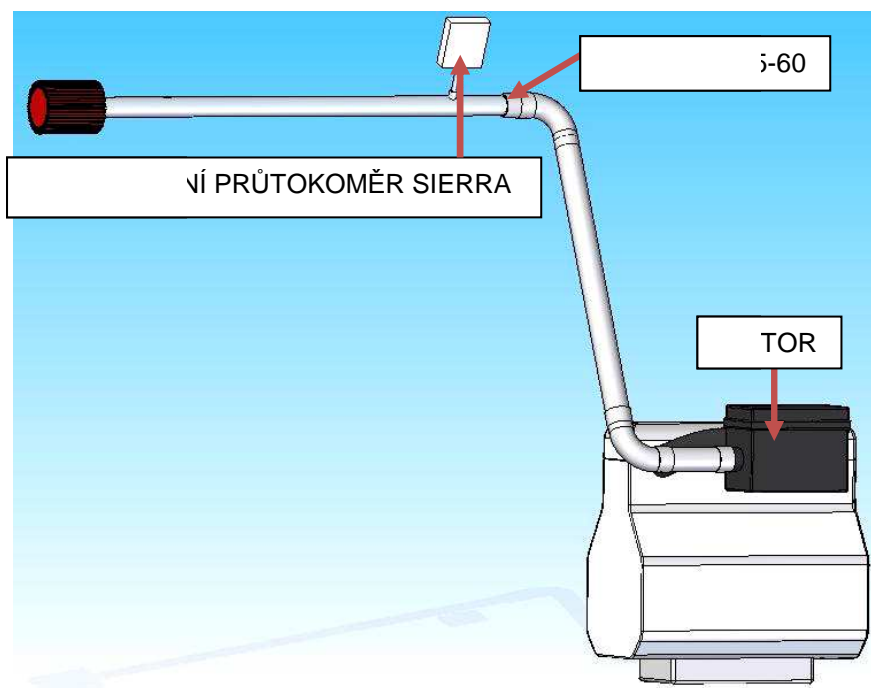
Viz. 4.2.2

4.4.3.1 Uspořádání měřicí tratě s demontovanou válcovou vyrovnávací nádobou a odpojeným měřidlem Gaselan

Měřicí trať tvořena pouze motorem, vedením a průtokoměrem Sierra (viz Obr.24 resp. Obr.25)



Obr. 24: Reálné uspořádání 3. varianty měřicí tratě bez vyrovnávací nádoby a měřidla Gaselan



Obr. 25: Schematické uspořádání 3. varianty měřicí tratě bez vyrovnávací nádoby a měřidla Gaselan

4.4.3.2 Průběh měření

Viz. 4.2.1.2

4.4.3.3 Atmosférické podmínky při měření

proměnné hodnoty				neměnná hodnota	spočtená hodnota
barometrický tlak p_b [kPa]	teplota vzduchu t_0 [°C]	vlhkost vzduchu ϕ_{vzd} [%]	parciální tlak nasycených par vody p_{parc} [Pa]	měrná plynová konst. suchého vzduchu r_{vzd} [J/kg·K]	hustota vzduchu ρ_{vzd} [kg/m ³]
97,31	24	32,1	3003	287,15	1,146

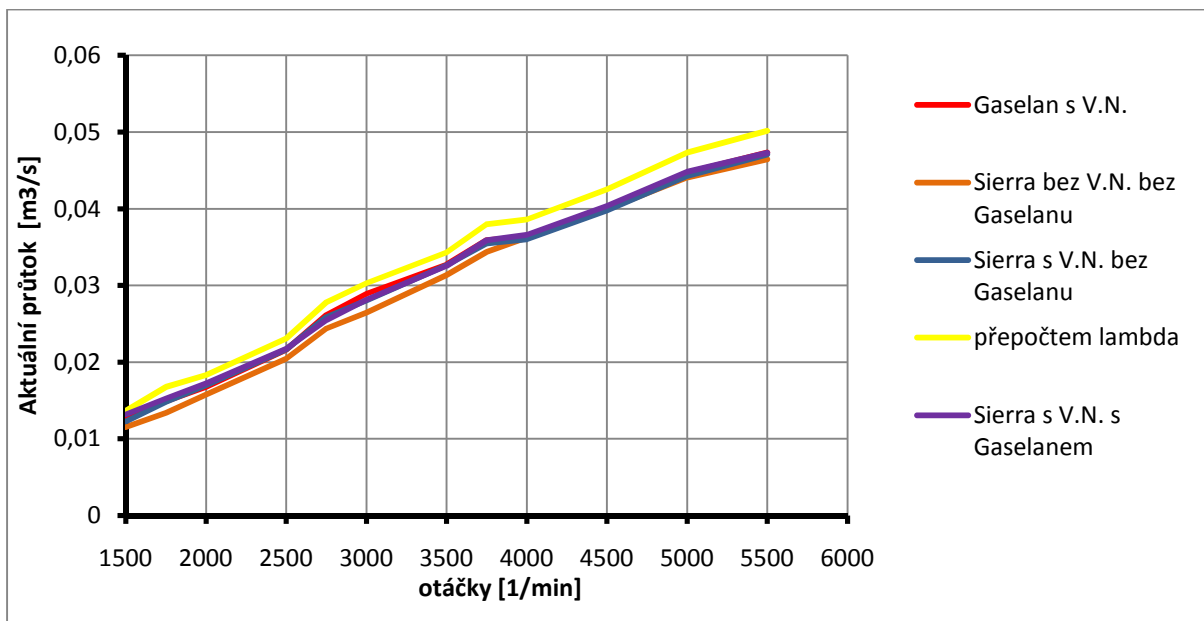
Tab. 17: : Atmosférické podmínky při měření třetí varianty uspořádání měřicí tratě bez vyrovnávací nádoby a bez měřidla Gaselan

4.4.3.4 Naměřené hodnoty a výpočty

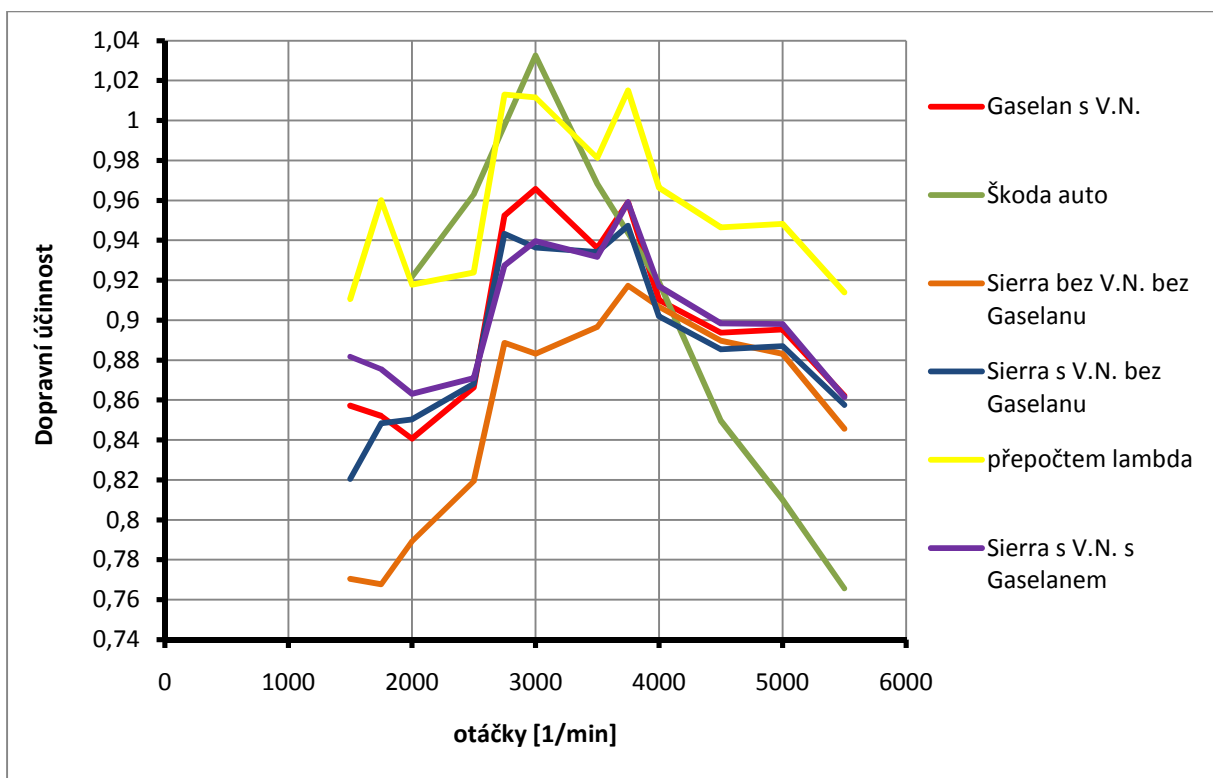
Otáčky [min ⁻¹]	měření s válcovou vyrovnávací nádobou bez měřidla Gaselan		
	naměřeno	spočteno	
	teoretický průtok průtokoměru Sierra Q_T [l·min ⁻¹]	skutečný hmotnostní průtok průtokoměru Sierra [kg·s ⁻¹]	Dopravní účinnost dle průtokoměru Sierra η [-]
5500	2475	0,053223823	0,845597856
5000	2350	0,050535751	0,883179983
4500	2130	0,045804745	0,889641369
4000	1930	0,04150383	0,906668812
3750	1830	0,039353372	0,917248497
3500	1670	0,03591264	0,896602171
3000	1410	0,030321451	0,883179983
2750	1300	0,027955948	0,888627956
2500	1090	0,023439987	0,819290367
2000	840	0,018063843	0,789224666
1750	715	0,015375771	0,767749165
1500	615	0,013225314	0,770433602

Tab. 18: Hodnoty průtoků třetí varianty měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby a bez měřidla Gaselan

4.4.4 Vliv vyrovnávací nádoby na měření



Graf 5: Porovnání aktuálních průtoků 3. varianty měřicí tratě v závislosti na otáčkách



Graf 6: Porovnání dopravních účinností 3. varianty měřicí tratě v závislosti na otáčkách

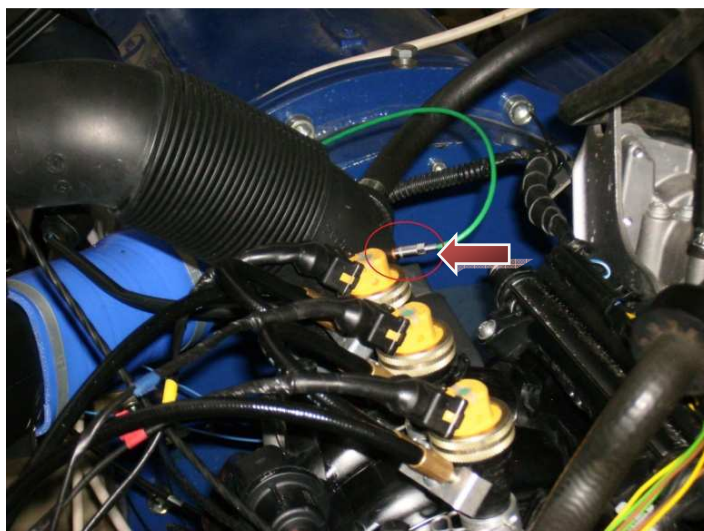
4.4.4.1 Zhodnocení

Z grafu závislosti aktuálního průtoku na otáčkách je zřejmý rozdíl mezi změřenými hodnotami průtoků a hodnotou dopočtenou pomocí λ a spotřeby paliva. Ostatní křivky se příliš neliší, až na nižší hodnoty průtoků změřených průtokoměrem Sierra, ve variantě bez válcové vyrovnávací s odpojeným měřidlem Gaselan, při nižších otáčkách.

Oproti tomu druhý graf, tedy závislost dopravní účinnosti na otáčkách, ukazuje zajímavější výsledky. Nejblíže je „ideálnímu“ průběhu dopravní účinnosti asi opět křivka dopočtená z hodnot λ a spotřeby paliva, nejpřesnější měření poskytlo měřidlo Gaselan ve variantě s válcovou vyrovnávací nádobou. Přítomnost měřidla Gaselan nemá na měření příliš velký vliv, je však nutné měřit statický tlak před měřidlem Gaselan, respektive za měřidlem Sierra, aby bylo možné co nejpřesněji dopočítat skutečný průtok vzduchu průtokoměrem Sierra dle vztahu (13). Zde se musí za tlak p_b dosadit změřený tlak p před měřidlem Sierra. Dále je z grafu zřejmé, že nejméně přesné měření poskytuje měřidlo Sierra bez vyrovnávací nádoby.

4.5 *Průběhy tlaků před motorem a v komolé vyrovnávací nádobě*

Cílem bakalářské práce je zjistit vliv velikosti vyrovnávací nádoby na měření průtoku vzduchu do motoru. Ke zpřesnění pohledu na účinek vyrovnávací nádoby byly do měřicí tratě zabudovány 2 tlakové snímače: jeden byl instalován do prostoru bezprostředně před sacími kanály motoru (absolutní snímač tlaku DRUCK PMP4070) Obr.26 a druhý do komolé vyrovnávací nádoby (absolutní snímač tlaku KISTLER 4007BA5F) Obr. 27. Výsledky provedených měření byly zpracovány do grafů, které ukazují, že vyrovnávací nádoby mají velký vliv na uklidnění pulzací v sacím traktu motoru.



Obr. 26: Tlakové čidlo instalované bezprostředně před motorem

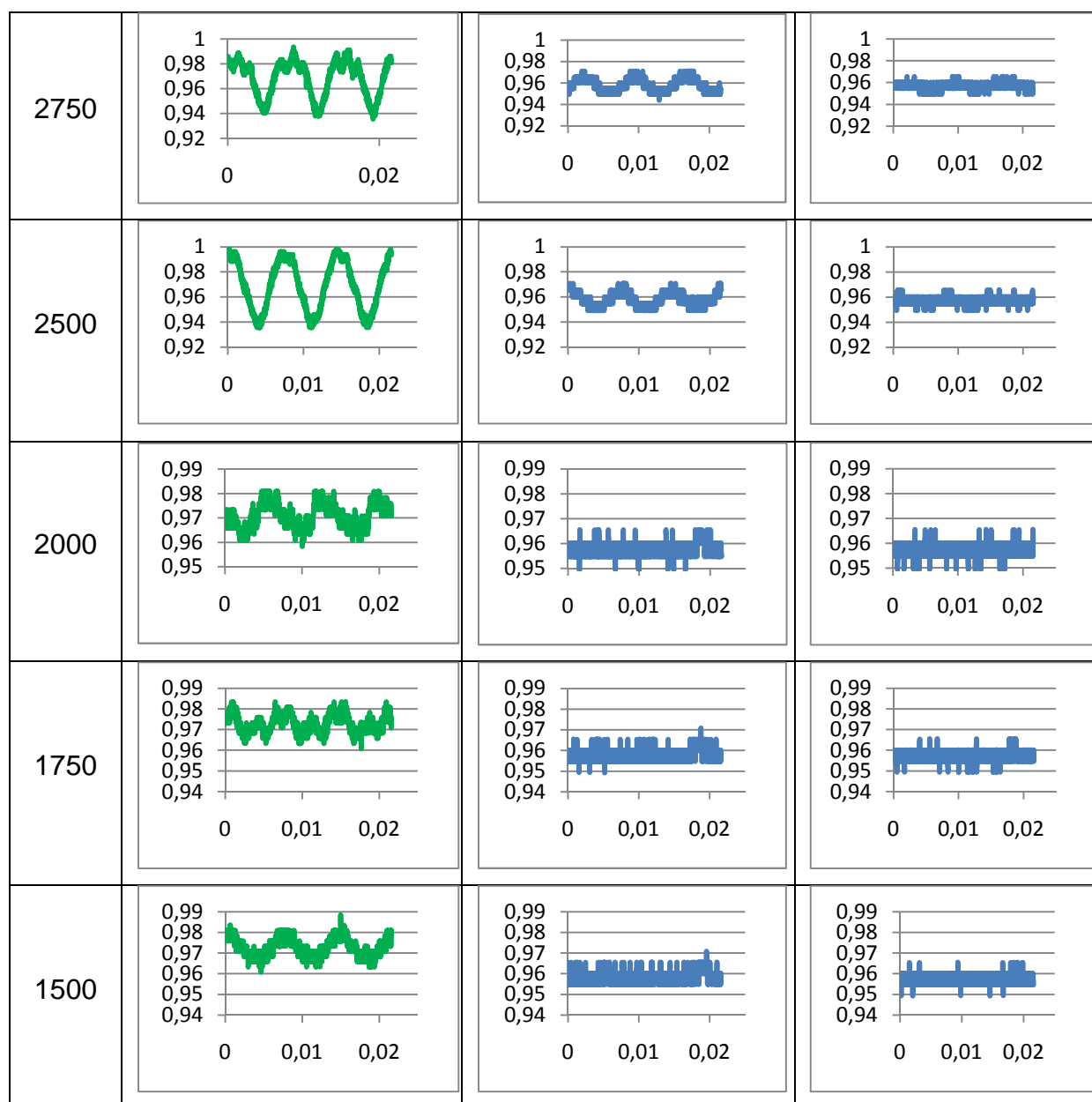


Obr. 27: Tlakové čidlo instalované v komolé vyrovnávací nádobě

Data pořízená z obou čidel jsou zpracována do tabulky, ve které jsou v prvním sloupci otáčky, ve druhém sloupci data pořízená z tlakového čidla před motorem, ve třetím sloupci jsou data pořízená z tlakového čidla v komolé vyrovnávací nádobě při měření, kdy byla demontovaná válcová vyrovnávací nádoba a konečně v posledním sloupci jsou opět data z tlakového čidla v komolé vyrovnávací nádobě, ovšem při měření kdy byla válcová vyrovnávací nádoba součástí sacího traktu. Změřené průběhy ukazují, že v režimu vysokých otáček motoru je amplituda tlakových pulsací v sání (v blízkosti škrtecí klapky) až 9 kPa, účinkem vyrovnávací nádoby se amplituda sníží na cca 0,5 kPa

Na ose x je vynášen čas v sekundách a na ose y je tlak v barech.

Ot. [1/min]	Měření před motorem	V komolé V.N. bez válcové V.N.	V komolé V.N. s válcovou V.N.
5500			
5000			
4500			
4000			
3750			
3500			
3000			



Tab. 19: Vliv objemu vyrovnávací nádoby na uklidnění pulzací v sacím traktu motoru

4.6 Shrnutí výsledků, zásadní poznatky a doporučení pro zástavbu průtokoměrů

Při měření byla použita dvě měřidla, plynoměr Gaselan a průtokoměr Sierra Inst. 620S L04. Tato měřidla byla instalována na různá místa měřicí tratě v různých variantách uspořádání měřicí tratě. Z měření vyplývá, že měřidlo Gaselan měří přesněji než měřidlo Sierra. Na měřidlo Gaselan nemá příliš velký vliv uspořádání měřicí tratě ani použití válcové vyrovnávací nádoby, to je zřejmě ovlivněno tím, že měřidlo má „svojí“ komolou vyrovnávací nádobu, která je pro uklidnění pulzací dostatečná.

Měřidlo Sierra, jak vyplývalo z měření, je velice citlivé měřidlo. Na toto měřidlo má vliv uspořádání měřicí tratě, umístění měřidla i použití vyrovnávací nádoby. Toto měřidlo je vhodné používat s válcovou vyrovnávací nádobou, z důvodu menšího rozsahu hodnot zobrazovaných na display měřidla. Tento rozsah se bez vyrovnávací nádoby blížil ke 100 l/min mezi nejnižší zobrazenou hodnotou a nejvyšší zobrazenou hodnotou v daném provozním režimu v daných otáčkách. Proto je nutné při odečítání hodnot volit průměrnou hodnotu a zde mohou nastávat velké chyby. Při použití vyrovnávací nádoby se tento rozsah eliminoval a hodnoty kolísali v rozmezí cca 20 l/min. Měřidlo Sierra měřilo nejpřesněji při použití pouze válcové vyrovnávací nádoby. Při použití komolé vyrovnávací nádoby byly hodnoty průtoků podstatně nižší (důsledek vyšších průtokových odporů s průtokoměrem Gaselan). Obecně z měření vyplývá, že velikost vyrovnávací nádoby má významný vliv na měření z hlediska přesnosti a z důvodu eliminace rozsahu zobrazovaných hodnot v daném provozním režimu.

Výsledky provedených měření ukazují, že průtokoměr Sierra s válcovou vyrovnávací nádobou poskytuje dostatečně přesný údaj o průtoku vzduchu do motoru, Při jeho instalaci do sestavy měřidel na zkušebním stanovišti bude výhodné zapojit výstup měření z průtokoměru do systému automatizovaného sběru dat.

Při měření průtoku vzduchu je nutné dbát na dokonalé utěsnění všech spojů, aby nedocházelo k přísávání vzduchu a tím k znehodnocení výsledků měření.

5 Závěr

Bakalářská práce v úvodní části vysvětluje význam měření spotřeby vzduchu v pístovém spalovacím motoru. Poté se zabývá dynamikou proudění v sacím traktu motoru a možnými opatřeními k eliminaci časově proměnlivých rychlostí vzduchu v sacím potrubí.

Dále představuje měřidla, která byla použita v praktické části a motor na kterém měření probíhalo. V praktické části představuje jednotlivá uspořádání měřicí tratě a výsledky měření takto navržených uspořádání. V závěru bakalářské práce je ukázán vliv vyrovnávacích nádob na uklidnění pulzací a doporučení pro zástavbu jednotlivých měřidel.

Výsledkem řešení bakalářské práce je doporučení měřit průtok vzduchu do motoru na zkušebním stanovišti s nepřepřlňovaným motorem pomocí průtokoměru Sierra, zapojeného do měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou.

Seznam použité literatury a softwaru

Literatura:

1. Jenčík, J.: Technická měření. Praha 6: Ediční středisko ČVUT, 1991
2. Řehák, I.: Návrh sacího traktu pro vůz formule SAE, Vysoké učení technické v Brně, 2008
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5606
3. Beroun, S.: Studijní texty k předmětu „Motorová vozidla“, Vozidlové motory, TUL v Liberci,
<http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/VOZMOT.pdf>
4. <http://radovancech.sweb.cz/emise3.htm>
5. http://www.carmotor.cz/includes/skoda-auto/MOTORY_1_2_CZ.pdf
6. http://www.roomik.estranky.cz/clanky/motor-1_2-12v-htp-51-kw.html
7. Bukvička, P.: Testování měřidel na spotřebu vzduchu v motoru při laboratorních zkouškách motorů. Bakalářská práce KVM-BP-227, Technická univerzita v Liberci, 2011
8. Příručka pro průtokoměr Sierra 620S Fast Flo
<http://www.autek.no/system/script/getfile2.asp?id=256>
9. <http://www.eamos.cz>
10. Petříková, M., Kryštůfek, P.: Tabulky a diagramy pro termodynamiku, Technická univerzita v Liberci, 2009

Software:

Microsoft office

Solid Edge V19

Seznam obrázků

Obr. 1: Časový průběh průtoku (rychlosti) nasávaného vzduchu do jednoho válce 4dobého dieselového motoru	17
Obr. 2: Dynamické jevy v sacím potrubí. [3]	18
Obr. 3: Závislost hlavních škodlivin na součiniteli přebytku vzduchu λ u zážehových motorů [4]	20
Obr. 4: Válcová vyrovnávací nádoba.....	21
Obr. 5: Rotační plynoměr Gaselan s komolou vyrovnávací nádobou.....	22
Obr. 6: Schéma principu plynoměru [9]	23
Obr. 7: Fast-FloTM snímač [8].....	24
Obr. 8: Fast- FloTM snímač.....	24
Obr. 9: Uspořádání tratí pro měřidlo Sierra Inst. 620S L04 [8]	25
Obr. 10: Motor 1.2 HTP [6] Obr. 11: Vnější otáčková charakteristika	26
Obr. 12: Schéma uspořádání měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou	27
Obr. 13: Reálné uspořádání měřicí tratě	27
Obr. 14: Schéma uspořádání měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby.....	30
Obr. 15: Reálné uspořádání měřicí tratě	30
Obr. 16: Reálné uspořádání 2. varianty měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou	34
Obr. 17: Schéma uspořádání 2. varianty měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou	35
Obr. 18: Reálné uspořádání 2. varianty měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby	37
Obr. 19: Schéma uspořádání 2. varianty měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby	38
Obr. 20: Reálné uspořádání 3. varianty měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou	42
Obr. 21: Schematické uspořádání 3. varianty měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou	43
Obr. 22: Reálné uspořádání 3. varianty měřicí tratě bez měřidla Gaselan.....	45
Obr. 23: Schematické uspořádání 3. varianty měřicí tratě bez měřidla Gaselan..	45
Obr. 24: Reálné uspořádání 3. varianty měřicí tratě bez vyrovnávací nádoby a měřidla Gaselan	48

Obr. 25: Schematické uspořádání 3. varianty měřicí tratě bez vyrovnávací nádoby a měřidla Gaselan	48
Obr. 26: Tlakové čidlo instalované bezprostředně před motorem	52
Obr. 27: Tlakové čidlo instalované v komolé vyrovnávací nádobě	52

Seznam grafů

Graf 1: Porovnání aktuálních průtoků 1. varianty měřicí tratě v závislosti na otáčkách.....	32
Graf 2: Porovnání dopravních účinností 1. varianty měřicí tratě v závislosti na otáčkách.....	33
Graf 3: Porovnání aktuálních průtoků 2. varianty měřicí tratě v závislosti na otáčkách.....	40
Graf 4: Porovnání dopravních účinností 2. varianty měřicí tratě v závislosti na otáčkách.....	40
Graf 5: Porovnání aktuálních průtoků 3. varianty měřicí tratě v závislosti na otáčkách.....	50
Graf 6: Porovnání dopravních účinností 3. varianty měřicí tratě v závislosti na otáčkách.....	50

Seznam tabulek

Tab. 1: Minimální délky potrubí před a za měřidlem v závislosti na uspořádání tratě [8]	25
Tab. 2: Atmosférické podmínky při měření první varianty uspořádání měřicí tratě s vyrovnávací nádobou	28
Tab. 3: Hodnoty průtoků první varianty měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou.....	29
Tab. 4: Atmosférické podmínky při měření první varianty uspořádání měřicí tratě bez vyrovnávací nádoby	30
Tab. 5: Vypočtené hodnoty pomocí λ a spotřeby paliva 1. varianty měřicí tratě... 31	
Tab. 6: Hodnoty průtoků první varianty měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby.....	32

Tab. 7: Atmosférické podmínky při měření druhé varianty uspořádání měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou	35
Tab. 8: Hodnoty průtoků druhé varianty měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou..	36
Tab. 9: Atmosférické podmínky při měření druhé varianty uspořádání měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby	38
Tab. 10: Vypočtené hodnoty pomocí λ a spotřeby paliva 2. varianty měřicí tratě.	39
Tab. 11: Hodnoty průtoků druhé varianty měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby	39
Tab. 12: Atmosférické podmínky při měření třetí varianty uspořádání měřicí tratě s vyrovnávací nádobou	43
Tab. 13: Hodnoty průtoků třetí varianty měřicí tratě s válcovou vyrovnávací nádobou s měřidlem Gaselan	44
Tab. 14: : Atmosférické podmínky při měření třetí varianty uspořádání měřicí tratě s vyrovnávací nádobou bez měřidla Gaselan.....	46
Tab. 15: Vypočtené hodnoty pomocí λ a spotřeby paliva 3. varianty měřicí tratě.	46
Tab. 16: Hodnoty průtoků druhé varianty měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby	47
Tab. 17: : Atmosférické podmínky při měření třetí varianty uspořádání měřicí tratě bez vyrovnávací nádoby a bez měřidla Gaselan.....	49
Tab. 18: Hodnoty průtoků třetí varianty měřicí tratě bez válcové vyrovnávací nádoby a bez měřidla Gaselan	49
Tab. 19: Vliv objemu vyrovnávací nádoby na uklidnění pulzací v sacím traktu motoru..	54

Seznam příloh

Kalibrační list rotačního plynoměru (GZDA DN 150)

Výkresová dokumentace:

Součástí této Bakalářské práce je výkresová dokumentace přírub a redukcí, které byly vyrobeny a použity v měřících tratích, zbylé redukce které byly použity, byly vyrobeny již dříve pro Bakalářskou práci Petra Bukvičky: „Testování měřidel na spotřebu vzduchu v motoru při laboratorních zkouškách motorů“

KVM_BP_246_001.....	Redukce 75_60
KVM_BP_246_002.....	Výpalek
KVM_BP_246_003.....	Trubka
KVM_BP_246_004.....	Svařenec



Český metrologický institut

Okružní 31, 638 00 Brno

tel. +420 545 555 111, fax +420 545 222 728, www.cmi.cz

Pracoviště: Oblastní inspektorát Pardubice, Průmyslová 455, Pardubice, 530 03
Oddělení průtoku a objemu plynů, tel. 466 670 728, fax 466 670 931

KALIBRAČNÍ LIST

5012-KL-P2 86-10

Datum vystavení: 20.7.2010

List 1 ze 2 listů

Zákazník: Technická univerzita
Studentská 2
Liberec

Měřidlo: Rotační plynoměr

Velikost: NB 300

Výrobce: GASELAN - NDR

Q_{max}: 360 m³/h

Typ: GZDA DN 150

Q_{min}: 30 m³/h

Výrobní číslo: 6738

P_{max}: 10bar

Rok výroby: 1967

Cyklický objem: 4,003 dm³

Výsledky kalibrace byly získány za podmínek a s použitím postupů uvedených v tomto kalibračním listě a vztahují se pouze k době a místu provedení kalibrace.

Datum kalibrace: 20.7.2010

Kalibraci provedl:

Vedoucí oddělení:

Ladislav Chlad



Ing. Tomáš Valenta

Tento dokument nesmí být bez písemného souhlasu provádějící laboratoře rozmnožován jinak než v celkovém počtu listů.

Použité etalony:

Při kalibraci byla použita zkušební stanice, která je vybavená následujícími etalonovými plynoměry:

- plynoměr s rotačními komorami G250, IGA, v.č. Y-0647 navázaný na státní(národní) etalon ČR
- turbínový plynoměr G1000, ELSTER, v.č. 83012128 navázaný v PTB v SRN
- turbínový plynoměr G4000, ELSTER, v.č. 83011878 navázaný v PTB v SRN až do 10000 m³/h

Kalibrační postup: 512-MP-C103

Místo kalibrace: ČMI OI Pardubice, zkušebna plynoměrů
Husova 10, 539 73 Skuteč (tel. 469 621 873; 607 628 951)

Podmínky prostředí:

teplota : (22,8 ± 1,0) °C
barometrický tlak : (97,0 ± 0,1) kPa
relativní vlhkost vzduchu : (55 ± 10) %

Výsledky kalibrace:

průtok (m ³ /h)	chyba plynoměru (%)	nejistota stanovení chyby plynoměru U(k=2) (%)
30,50	-1,66	0,24
60,32	-0,24	0,24
149,23	0,22	0,25
250,76	0,31	0,24
359,06	0,98	0,27

$$\text{chyba plynoměru} = 100 \cdot (V_p - V_e)/V_e \quad (\%)$$

V_p protoklý objem vzduchu zaznamenaný zkoušeným plynoměrem, korigovaný na stavové podmínky vzduchu v etalonu

V_e protoklý objem vzduchu zaznamenaný etalonem

Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02. Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu k , který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %, což pro normální rozdělení odpovídá koeficientu rozšíření $k = 2$.

Konec kalibračního listu

Český metrologický institut
Oblastní inspektorát Pardubice
Průmyslová 455
530 03 Pardubice
.2.

Tento dokument nesmí být bez písemného souhlasu provádějící laboratoře rozmnožován jinak než v celkovém počtu listů.